



Miguel Fernando de Oliveira Morais

Licenciatura em Engenharia Biomédica

Estudo da Influência da Música na Atividade Elétrica Cerebral

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Biomédica

Orientadora: Prof.^a Doutora Carla Maria Quintão Pereira,
FCT-UNL

Co-orientadora: Prof.^a Doutora Isabel Maria Pires, FCSH-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro, 2016

Estudo da Influência da Música na Atividade Elétrica Cerebral

Copyright © Miguel Fernando de Oliveira Morais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

São várias as pessoas às quais eu devo a minha gratidão pela sua presença durante a dissertação e o meu percurso académico no geral. É com uma enorme satisfação que usufruo desta oportunidade para agradecer a todos aqueles que tornaram possível a conclusão desta etapa.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, a Professora Carla Quintão, pela disponibilidade e orientação constantes ao longo deste trabalho. Muito obrigado pelos conselhos e soluções, que foram cruciais no decorrer do projeto.

À Professora Isabel Pires, cujas sugestões e ajuda foram muito importantes para que alguns problemas fossem ultrapassados.

A todos os colegas que ao longo do meu percurso académico se tornaram grandes amigos. Em especial: Alexandre Mogário, Bernardo Valença, Marcos Rodrigues e Pedro Duarte. Sem a vossa presença, esta não teria sido uma experiência tão gratificante e cheia de boas memórias.

A todos os meus colegas da anTUNiA, pelos momentos inesquecíveis e aventuras intrépidas.

À Adriana Picareta, pela companhia, apoio e carinho, sempre que necessários.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família por todo o carinho e apoio ao longo da minha vida.

Um muito obrigado aos meus pais e irmã, por estarem sempre a meu lado e por me ajudarem a cumprir os meus objetivos.

Resumo

Esta dissertação tem como finalidade estudar a resposta emocional à música, usando a técnica da eletroencefalografia (EEG). O principal objetivo será avaliar como é que algumas das características dos sinais de EEG estão relacionadas com quatro das emoções que poderão ser evocadas pela audição da música: alegria, serenidade, tristeza e medo.

Selecionou-se uma população constituída por indivíduos com formação musical (músicos) e indivíduos sem formação musical (não-músicos). Fez-se a aquisição do sinal de EEG durante a audição de doze estímulos sonoros, três para cada emoção. Após essa audição, foi preenchido um questionário por todos os voluntários para avaliar os diferentes estímulos sonoros quanto ao tipo de emoção que foi induzida. Por fim, o sinal de EEG foi analisado para extrair informação da resposta cerebral, relativamente ao tipo de emoção evocada. Foram utilizados vários indicadores para o cálculo do valor médio da densidade espectral de potência (DEP) do sinal de EEG, em duas bandas de frequência: alfa e beta.

Os diferentes estímulos musicais foram avaliados pelos vários indicadores e comprovou-se que a zona frontal do cérebro está ligada à resposta emocional evocada pela música. Conseguiu-se determinar o tipo de emoção quanto à sua valência (positiva ou negativa) e quanto à excitação (ou intensidade provocada), com taxas de sucesso 95% para valência positiva, 46% para valência negativa e 69% para a excitação.

Palavras-chave: eletroencefalografia, EEG, valência, excitação, densidade espectral de potência, DEP.

Abstract

This thesis aims to study the emotional response to music, using the electroencephalography (EEG) technique. The main objective is to understand four different music evoked emotions: joy, tenderness, sadness and fear, using the EEG data analysis.

The selected population consisted of individuals with musical training (musicians) and others without musical training (non-musicians). The acquisition of the EEG data was made using twelve different sound stimuli, three for each emotion. After every musical excerpt, there was a questionnaire to rate the different sound stimuli concerning the type of emotion they induced. Finally, the EEG data analysis was made in order to extract information about the brain response, regarding the type of emotion. Several algorithms were tested, in order to extract data's power spectral density (PSD) in two different frequency bands: alpha and beta.

After the evaluation of the EEG data, it was proved that the frontal area of the brain is related to the emotional response evoked by music. It was possible to determine the type of emotional valence and arousal with success rates of 95% for positive valence, 46% for negative valence and 69% for arousal.

Keywords: electroencephalography, EEG, valence, arousal, power spectrum density.

Conteúdo

| | |
|--|-------------|
| Lista de Figuras | XIII |
| Lista de Tabelas | XV |
| Lista de Acrónimos | XVII |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Contextualização | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.3. Estado da Arte | 3 |
| 2. Eletroencefalografia | 7 |
| 2.1. Técnica da Eletroencefalografia | 7 |
| 2.2. Base Neurofisiológica da Eletroencefalografia | 8 |
| 2.3. Sinal de EEG | 11 |
| 2.3.1. Ritmo delta | 11 |
| 2.3.2. Ritmo teta | 11 |
| 2.3.3. Ritmo alfa | 11 |
| 2.3.4. Ritmo beta | 12 |
| 2.3.5. Ritmo gama | 12 |
| 2.4. Artefatos de sinal | 12 |
| 2.5. Emotiv EPOC | 13 |
| 2.6. Ferramentas de análise de Sinal de EEG | 13 |
| 2.6.1. Análise em componentes independentes | 13 |
| 2.6.2. Densidade Espectral de Potência | 14 |
| 3. Materiais e Métodos | 17 |
| 3.1. Seleção da Amostra | 17 |
| 3.2. Protocolo Experimental | 18 |
| 3.3. Aquisição do Sinal de EEG | 19 |
| 3.3.1. Preparação do <i>Emotiv EPOC</i> | 19 |
| 3.3.2. Questionário | 20 |
| 3.3.3. Análise dos dados eletroencefalográficos | 21 |
| 3.4. Análise do Sinal de EEG | 22 |
| 4. Resultados | 23 |
| 4.1. Análise dos Questionários | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2. Análise dos dados eletroencefalográficos..... | 25 |
| 4.2.1. Estudo da Valência | 25 |
| 4.2.2. Estudo da Excitação | 33 |
| 5. Conclusões..... | 41 |
| 5.1. Trabalhos Futuros | 42 |
| Referências | 45 |
| APÊNDICE A – Origem dos Excertos Musicais do Protocolo Criado | 49 |
| APÊNDICE B – Questionário - Classificação da Valência e Excitação..... | 51 |
| APÊNDICE C – Emoções presentes num estímulo | 53 |
| APÊNDICE D - Taxas de Sucesso a Classificar a Valência | 57 |
| APÊNDICE E - Questionário | 61 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Representação bidimensional das emoções. Nas abcissas a valência (sentimentos positivos ou negativos), nas ordenadas o grau de intensidade da emoção consoante a valência..... | 3 |
| Figura 2. Potencial de ação. 1- Repouso; 2 - Despolarização devido à entrada de iões Na^+ ; 3 - Repolarização devido à entrada de iões K^+ ; 4 - Hiperpolarização devido ao fecho tardio dos canais de K^+ | 8 |
| Figura 3. Estrutura de um neurónio. Abaixo estão vários neurónios pós-sinápticos..... | 9 |
| Figura 4. Representação do sinal de EEG, dividido nas várias bandas de frequência estudadas..... | 11 |
| Figura 5. Posicionamento dos elétrodos de aquisição de sinal no Emotiv EPOC..... | 13 |
| Figura 6. Espectro de potência de sinais de EEG e mapas representativos da distribuição dessa potência no escalpe em três frequências diferentes: 6Hz, 10Hz e 22Hz..... | 15 |
| Figura 7. Aquisições de sinal de EEG no Laboratório de Informática Musical. Preparação do protocolo experimental..... | 19 |
| Figura 8. Exemplo de aquisição de EEG no <i>TestBench</i> . É possível ter informação em tempo real relativamente à qualidade de sinal de cada elétrodo, visualizar os artefatos de sinal e ter informação sobre o nível da bateria do dispositivo de aquisição..... | 20 |
| Figura 9. Classificações dos questionários para não-músicos. A verde os excertos de alegria, a azul os de serenidade, a amarelo os de tristeza e a vermelho os de medo. Para cada estímulo, encontram-se também os erros-padrão da valência e excitação. Os vários números correspondem aos estímulos utilizados no protocolo experimental..... | 23 |
| Figura 10. Classificações para músicos. A verde os excertos de alegria, a azul os de serenidade, a amarelo os de tristeza e a vermelho os de medo. Para cada estímulo, encontram-se também os erros-padrão da valência e excitação. Os vários números correspondem aos estímulos utilizados no protocolo experimental..... | 24 |
| Figura 11. Mapas de densidade espectral de potência para os estímulos de diferentes valências. Na parte superior, os mapas relativos à DEP alfa. Na parte inferior, os mapas relativos à DEP beta..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Figura 12. Diferentes valores de DEP média na banda alfa, para o estímulo de valência positiva 11, nos grupos de músicos e não-músicos. Observam-se menores valores de DEP alfa no eletrodo F3 (maior atividade no hemisfério esquerdo), comparando com o eletrodo F4. Este acontecimento verifica-se em ambas as populações..... | 32 |
| Figura 13. Diferentes valores de DEP média na banda alfa, para o estímulo de valência negativa 10, nos grupos de músicos e não-músicos. Observam-se menores valores de DEP alfa no eletrodo F4 (maior atividade no hemisfério direito), comparando com o eletrodo F3. Este acontecimento verifica-se em ambas as populações..... | 32 |
| Figura 14. Exemplo dos mapas de DEP média em alfa e beta para os estímulos de diferentes níveis de excitação, para um indivíduo. Na parte superior, os mapas relativos níveis baixos de excitação. Na parte inferior, os mapas relativos a níveis altos de excitação..... | 36 |
| Figura 15. Valores de DEP média na banda alfa para estímulos de níveis diferentes de excitação mas com valência negativa, nos dois grupos de indivíduos..... | 37 |
| Figura 16. Valores de DEP média na banda alfa para estímulos de níveis diferentes de excitação mas com valência positiva, nos dois grupos de indivíduos..... | 38 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Estrutura do protocolo experimental em relação à emoção a induzir pelos vários estímulos musicais usados..... | 18 |
| Tabela 2. Diferentes indicadores para a análise da valência..... | 26 |
| Tabela 3. Taxas de sucesso dos vários indicadores aplicados para a classificação da valência dos doze estímulos utilizados no protocolo, nos indivíduos músicos. A negrito estão assinaladas a melhores taxas de sucesso da avaliação da valência, para um determinado excerto musical..... | 27 |
| Tabela 4. Taxas de sucesso dos vários indicadores aplicados para a classificação da valência dos doze estímulos utilizados no protocolo, nos indivíduos não-músicos. A negrito estão assinaladas a melhores taxas de sucesso da avaliação da valência, para um determinado excerto musical..... | 28 |
| Tabela 5. Diferentes médias das taxas de sucesso para a deteção da valência dos estímulos de valência positiva, tanto nos músicos como nos não-músicos..... | 28 |
| Tabela 6. Diferentes médias das taxas de sucesso para a deteção da valência dos estímulos de valência negativa, tanto nos músicos como nos não-músicos..... | 29 |
| Tabela 7. Diferentes indicadores para análise da excitação..... | 34 |
| Tabela 8. Taxas de sucesso para a avaliação do nível de excitação para os vários indicadores..... | 35 |

Lista de Acrónimos

| | |
|------|--|
| ACI | Análise em Componentes Independentes |
| DEP | Densidade Espectral de Potência |
| EEG | Eletroencefalografia |
| FCM | <i>Clustering de Fuzzy C-Mean</i> |
| IRMf | Imagem por Ressonância Magnética Funcional |
| LBWT | <i>Lifting Based Wavelet Transforms</i> |
| PPS | Potenciais Pós-Sinápticos |
| SVM | <i>Support Vector Machine</i> |

1. Introdução

1.1. Contextualização

A música é uma linguagem universal e o seu significado mais importante estará certamente nas emoções que descreve ou invoca. É usada entre culturas para expressar sentimentos e crenças. De um ponto de vista científico, a música corresponde a uma sequência de estímulos, onde existe uma estruturação de unidades sonoras, quer ao nível do tempo (ritmo), da harmonia (melodia) e do timbre [1]. É um sistema organizado complexo, que gera respostas fisiológicas e psicológicas em quem recebe o estímulo.

Existem trabalhos que comprovam a consistência de respostas emocionais de vários indivíduos a determinados excertos musicais, onde com base em questionários efetuados posteriormente, foram distinguidos vários estados de espírito induzidos pela música, como a alegria, tristeza, medo e raiva [2].

Há regiões do cérebro, nomeadamente o córtex orbitofrontal, o corpo estriado, a amígdala e também a zona frontal esquerda, que estão envolvidas na resposta a emoções positivas induzidas pela música. Tal acontece, devido ao facto de estas estruturas fazerem parte do centro de recompensa da via mesolímbica, que estão envolvidas no processamento de uma gama ampla de tipos de prazer. [3]

Contudo, surge uma necessidade de comprovar de forma objetiva a influência das emoções induzidas pela música. A forte associação entre a música e a emoção e o fato de desempenhar um papel vital na comunicação emocional, fazem com que exista a necessidade de uma compreensão completa da forma como a informação da emoção é processada no cérebro. Os primeiros estudos relacionados com esta temática foram efetuados com base na resposta comunicacional de indivíduos, através de questionários para classificar as emoções induzidas pela música. Mais tarde, foram exploradas as respostas fisiológicas, que ganham cada vez mais atenção na caracterização dos estados emocionais. Estudos recentes afirmam que os sinais medidos a partir do sistema nervoso central mostram que existe uma relação entre as alterações fisiológicas e as emoções. [4] Estes estudos da formação das emoções têm-se focado em medições fisiológicas periféricas, como por exemplo a condutividade da pele, o ritmo cardíaco, a imagem por ressonância magnética funcional (IRMf) e a eletroencefalografia (EEG). Verificou-se que a música adicionada a filmes de suspense parecia estar relacionada com mudanças nos níveis de condutividade da pele [5]. Anos depois, foi possível observar que excertos de música com conotação triste produziam maiores alterações na frequência cardíaca, pressão arterial, condutividade da pele e temperatura [6]. Em relação a técnicas de imagem médica, nomeadamente

através da IRMf, foi possível relacionar a infrarregulação da amígdala e ativação do córtex insular (regiões do cérebro associadas à resposta emocional) com estímulos visuais negativos ou positivos [7].

Nos últimos anos tem-se observado um maior número de estudos das emoções induzidas pela música em EEG, por duas principais razões: a própria necessidade de relacionar a música com a dinâmica cerebral evidenciada pelo EEG e, ultimamente, o crescimento da investigação na área das interfaces cérebro-computador [8][9].

A musicoterapia começou a ser usada durante a primeira guerra mundial, para acalmar os soldados que sofriam de *stress* pós-traumático. Geralmente, as aplicações da musicoterapia dividem-se em quatro componentes: na terapia ocupacional, a música é prescrita para ajudar os pacientes mais idosos a exercitar as articulações; no tratamento psiquiátrico, pode ajudar a aliviar a tensão dos pacientes, desviando a sua atenção dos seus problemas de saúde; na aplicação de anestesia, pode ser utilizada em blocos operatórios para reduzir a quantidade de anestesia necessária para uma cirurgia ou parto; num ambiente hospitalar, pode ser usada como tratamento psicológico para ajudar os pacientes a relaxar durante ou enquanto esperam quaisquer procedimentos médicos. [10]

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é avaliar de que forma é que as características de estímulos musicais selecionados poderão alterar a atividade elétrica do cérebro e, consequentemente, os estados emocionais induzidos pela música. Outro objetivo, também, é verificar se existe alguma diferença na resposta de EEG entre uma população sem formação auditiva específica e outra com formação auditiva específica. Por fim, tentar também validar alguns algoritmos existentes para a avaliação das emoções, em função da leitura do sinal de EEG. Crê-se que um melhor conhecimento da resposta cerebral a diferentes tipos de emoção evocada pela música, passa, no futuro, por promover a utilização da música no controlo de diferentes patologias, nomeadamente as que estão relacionadas com distúrbios nervosos [10].

1.3. Estado da Arte

Nos últimos anos tem havido um crescimento na investigação sobre a influência de estímulos musicais na atividade elétrica do cérebro. Esses estudos focam-se em diferentes bandas de frequência do sinal de EEG (teta, alfa, beta e gama). Na maioria dos trabalhos, existe uma base para a classificação das emoções. Para simplificar a categorização das emoções, criou-se um plano bidimensional, no qual o eixo das abcissas corresponde à valência (sentimentos positivos ou negativos) e o eixo das ordenadas ao nível de excitação (intensidade da emoção). [11] Na figura 1 pode-se observar o plano bidimensional das emoções, criado deste modo.

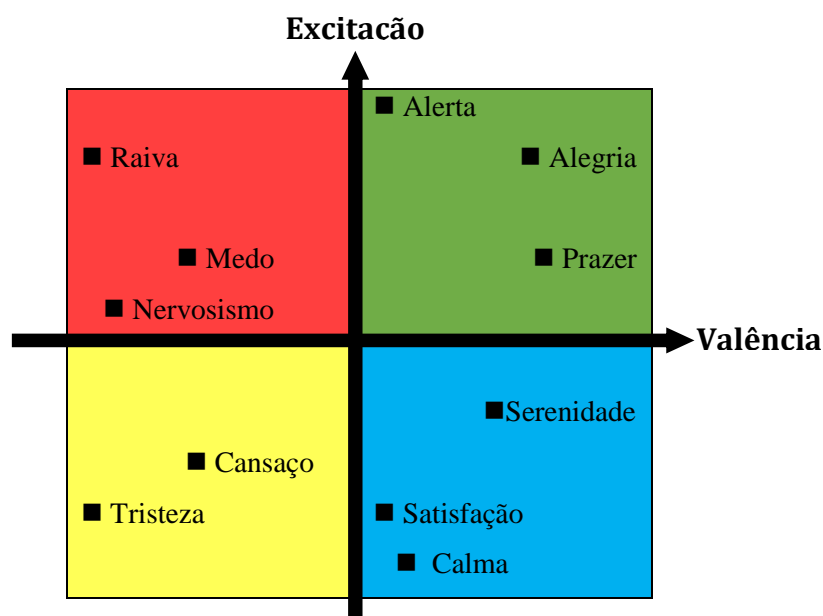


Figura 1. Representação bidimensional das emoções. Nas abcissas a valência (sentimentos positivos ou negativos), nas ordenadas o grau de intensidade da emoção consoante a valência. Adaptado de [10].

A excitação é um conceito que está relacionado com “estados de pré-ativações internas (altas ou baixas), nos quais mecanismos neurais e cognitivos são ativados levando o indivíduo a prestar atenção à música que está a ser executada”. [12] Em relação à valência de uma emoção, está-lhe associada o prazer, que é subjetivo. À música “agradável” estão associadas emoções como a alegria e a serenidade, assim como com música “desagradável” estão associadas emoções como o medo e a tristeza.

Outro estudo tentou através de duas abordagens diferentes correlacionar respostas a estímulos musicais com a valência (positiva/negativa) e a intensidade da emoção. Apresentando uma outra forma de referir o modelo bidimensional da valência/excitação da emoção, onde se afirma que todas as emoções são produzidas consoante a combinação dos níveis destas duas características.

Foram aplicados dois filtros passa-banda por eletrodo para o estudo apenas dos ritmos alfa e beta, na detecção da valência e excitação. A excitação foi descrita através da divisão entre o ritmo beta (12-30Hz) e o alfa (8-12Hz), entre os eletrodos F3 e F4, respetivamente, na área do córtex pré-frontal.

$$\frac{\beta AF3 + \beta AF4 + \beta F3 + \beta F4}{\alpha AF3 + \alpha AF4 + \alpha F3 + \alpha F4} \quad (1)$$

Por outro lado, o método usado para distinguir valores de valência emocional que correspondem a um estado de espírito positivo (alegria, satisfação, prazer), foi através da comparação de níveis de ativação medida em EEG entre os hemisférios esquerdo e direito (F3 e F4, respetivamente):

$$\frac{\alpha F4}{\beta F4} - \frac{\alpha F3}{\beta F3} \quad (2)$$

Para aplicar este procedimento, foi necessário representar a potência logarítmica do sinal de EEG, com o objetivo de tornar positivo todo o sinal e posterior aplicação da análise matemática. Esta investigação acabou por concluir que esta era uma forma válida para aferir os níveis de excitação e valência para os estímulos usados (auditivos e visuais).

Outros trabalhos tiveram como objetivo obter novas perspetivas sobre os mecanismos subjacentes ao processamento de emoções agradáveis e desagradáveis induzidas musicalmente. Para isso foram apresentados excertos musicais harmoniosamente agradáveis, contrastando com excertos dissonantes. Concluiu-se que a audição de determinados excertos musicais considerados agradáveis estavam relacionados com o aumento do ritmo teta na linha média frontal (*frontal midline*), sugerindo-se que se relacionava com a emoção que se encontra associada a esta zona do cérebro. Na metodologia, foi usada a análise de espectro de potência da banda teta. Para cada caso, o sinal obtido era processado por meio de transformada de Fourier e por fim, feita a sua média para análise do espectro de potência média. [9] [13]

Também foi proposto um algoritmo de reconhecimento de emoções em tempo real baseado na dimensão fractal que usava o modelo emocional de Excitação-Valência. Foi possível a distinção entre seis emoções: medo, frustração, tristeza, alegria, prazer e satisfação. Consoante o estado

emocional de cada indivíduo, a aplicação, baseada em EEG, reproduzia um excerto musical para acompanhar o estado de espírito. [14]

No que respeita a estudos relacionados com valência, um trabalho focado nas bandas de frequência alfa e teta comprovou uma teoria existente de que havia uma especialização hemisférica para a valência das emoções. Emoções positivas demonstraram mais atividade relativa ao EEG no hemisfério esquerdo, enquanto que emoções negativas demonstraram maior atividade relativa no hemisfério direito. Salientou-se que as assimetrias na banda teta entre excertos musicais positivos e negativos indicam que a potência da banda teta pode estar também relacionada com o processamento emocional e deverá ser considerada em investigações futuras. Os resultados foram obtidos com base numa metodologia em transformadas de Fourier rápidas sujeitas à média para se obter o espectro de potência média. [15]

Outro estudo utilizou o algoritmo de *support vector machine* (SVM) combinado com análise espectral criada pela análise de transformada de *Fourier* para a avaliação de vários estados emocionais induzidos pela música. Os pares de elétrodos frontais e parietais acabaram por ser os mais informativos acerca dos estados emocionais dos indivíduos em estudo. Mostraram que a assimetria no ritmo beta na zona central-parietal (elétrodos CP3 e CP4) desempenha um papel importante no estudo da emoção. Concluíram, também, que a assimetria no ritmo teta na zona frontal e parietal também está relacionada com a intensidade das emoções. [16]

Houve investigação que envolveu o reconhecimento de emoções através da análise por aplicação de *lifting based wavelet transforms* (LBWT) para extrair propriedades estatísticas do sinal estudado. Foi posteriormente aplicado *clustering* de *Fuzzy C-Mean* (FCM) para classificar as emoções. Os resultados confirmaram a possibilidade de identificar emoções diferentes analisado o sinal de EEG na banda alfa. [17].

Em [18], a experiência tratou-se de analisar a resposta cerebral aos níveis de intensidade sonora de excertos musicais. Com base na análise das ondas alfa e beta através do espectro de potência, para valores baixos de intensidade sonora foram registados valores altos de potência absoluta na banda alfa e valores baixos na banda beta, o que sugere que os indivíduos estavam num estado relaxado. Em níveis mais altos de intensidade sonora (100 dB), observou-se o comportamento contrário, decréscimo dos valores alfa e aumentos dos valores beta, o que indica um estado de menor relaxamento.

Outra investigação analisou as potências absolutas de sinal antes de um estímulo musical e após um estímulo nas bandas teta e alfa. Relacionou-se a resposta cerebral à música em duas

populações distintas: músicos e não-músicos. Concluiu-se que o grupo de músicos apresentam uma supressão global das frequências maior que o grupo de indivíduos sem formação musical. Isto porque os músicos efetuam menos esforço para processar o mesmo estímulo musical, ou seja, há um menor trabalho cognitivo por parte dos músicos. Outro facto interessante observado foi que em estímulos de sons sintetizados incomuns, os índices de ativação de zonas cerebrais foram semelhantes em ambas as populações. [19]

Houve um estudo que envolveu a análise da potência média nas bandas teta, alfa e beta, que estudou a resposta emocional em diferentes emoções evocadas pela música. Através da análise da valência e da excitação induzidas pela audição de excertos musicais, conseguiu-se provar que a valência emocional está relacionada com uma assimetria frontal entre os hemisférios do cérebro. Uma maior atividade frontal esquerda traduz-se numa resposta de valência positiva (serenidade e alegria), e uma maior atividade frontal direita exprime-se numa resposta de valência negativa (tristeza e medo). O estudo comprovou, também, que a excitação de uma emoção está relacionada com a atividade global da zona frontal do córtex. Os indivíduos, ao escutarem excertos musicais com níveis altos de excitação, apresentaram uma maior atividade global frontal do que em excertos com baixa excitação. [20]

2. Eletroencefalografia

2.1. Técnica da Eletroencefalografia

Neste trabalho, a técnica de aquisição de sinal a usar para o estudo da influência dos estímulos musicais será a EEG. Consiste no estudo da variação da atividade elétrica gerada pelas estruturas do cérebro, registadas na superfície do escalpe através de elétrodos metálicos e meios condutores. Quando os neurónios são ativados, são criados fluxos de corrente locais. Apenas grandes populações de neurónios conseguem gerar uma atividade elétrica no escalpe possível de ser registada. O registo é efetuado colocando vários elétrodos na cabeça/couro cabeludo. A maior parte dos estudos é realizada com o sistema de colocação de elétrodos 10-20, geralmente usada em trabalhos de investigação científica. A classificação dos elétrodos é feita através da sua localização: frontopolar (Fp), frontal (F), central (C), temporal (T), posterior (P) e occipital (O). A letra “z” representa os elétrodos no centro. Os números ímpares correspondem ao hemisfério esquerdo e números pares ao direito [21]. O gráfico de EEG é-nos normalmente apresentado em microvolts por unidade de tempo ($\mu\text{V/s}$).

É usado clinicamente para o diagnóstico de patologias como por exemplo epilepsia, tumores cerebrais, disfunções cerebrais (ex.: encefalopatia), inflamação do cérebro (encefalite), acidente vascular cerebral, distúrbios do sono e demência. Pode ser também utilizado para confirmar a morte cerebral ou para controlar o nível adequado de anestesia a utilizar para alguém em coma induzido [22].

Para este trabalho, a eletroencefalografia é um método escolhido por diversas razões. Devido à fácil portabilidade, permite um indivíduo estar sentado confortavelmente numa sala silenciosa enquanto percebe os excertos musicais. Como existe uma necessidade de analisar uma resposta funcional imediata dos indivíduos, a EEG acaba por ser o eleito porque tem uma elevada resolução temporal (na ordem do 1ms), sendo assim possível estudar vários processos neuronais em diferentes escalas de tempo, ou seja, diferentes gamas de frequências que estão relacionadas com diferentes respostas emocionais. [13]

A IMRf é uma técnica que poderia ser utilizada para os vários objetivos propostos neste trabalho. Porém, apesar de ter uma resolução espacial bastante melhor que a EEG, a sua resolução temporal é bastante má (1-2s) e é uma técnica que envolve bastante ruído sonoro, sendo que estes fatores não vai de encontro ao pretendido. Além disso, o sistema de EEG é relativamente portátil e de muito menor custo quando comparado com a IMRf [8].

A tomografia por emissão de positrões também poderia ser utilizada. Porém, é uma técnica que recorre à utilização de substâncias radioativas e o seu equipamento é de elevado custo. Também tem uma resolução temporal que não é satisfatória. Assim sendo, a EEG permanece a técnica mais favorável a ser utilizada. Seria, eventualmente, interessante e em linha com as tendências de

estudo do funcionamento cerebral, integrar as diferentes informações disponíveis em cada uma destas técnicas.

2.2. Base Neurofisiológica da Eletroencefalografia

O cérebro é composto por dois grupos principais de células: as células nervosas, denominadas neurónios, e as células gliais. As células gliais estão ligadas entre si e influenciam a atividade global do cérebro, resultando no seu bom funcionamento individual e coletivo. [23] Estas estruturas possuem no seu meio intracelular um potencial de repouso de aproximadamente -80mV. As diferenças de potencial entre o meio intracelular e extracelular provêm da diferença de concentrações dos iões K^+ , Na^+ e Cl^- , entre outros. A diferença de potencial é mantida através do transporte ativo de K^+ para o interior da célula e de Na^+ para o exterior, usando a energia fornecida através de processos metabólicos. [24]

A atividade elétrica dos neurónios manifesta-se pela criação de potenciais de ação e por potenciais pós-sinápticos (PPS). Os potenciais de ação ocorrem quando a excitação elétrica da membrana excede um limiar, enquanto que os potenciais pós-sinápticos são fenómenos subliminares, ou seja, não excedem o limiar necessário. A criação de potenciais de ação está relacionada com o rápido aumento da permeabilidade da membrana a iões Na^+ , que poderá ocorrer após o estímulo. O seu fluxo para o interior da célula causa um rápido aumento do potencial no interior e a mudança da polaridade do interior do neurónio de negativo para positivo (cerca de +30 mV). Um aumento subsequente da permeabilidade da membrana aos iões K^+ (levando à sua saída da célula), e uma diminuição da permeabilidade para os iões de Na^+ faz com que o interior da célula fique negativo novamente. Desta forma, um potencial de ação de uma duração de 1ms é criado, obedecendo à regra do "tudo ou nada": para estímulos abaixo do limiar de excitação, o neurónio não "dispara"; para excitação acima do limiar, é criado um pulso de uma amplitude constante, como podemos observar na figura 2.

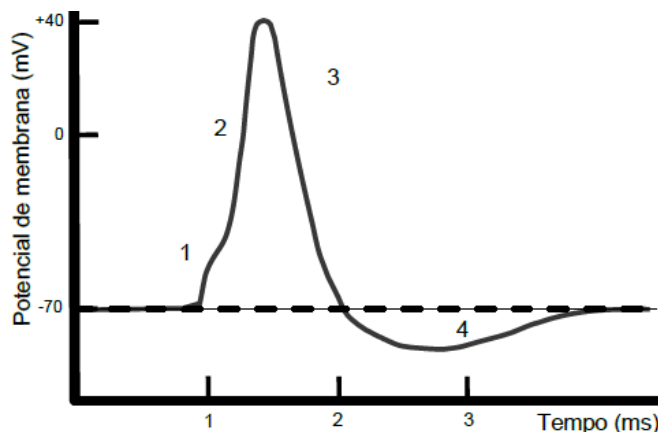


Figura 2. Potencial de ação. 1- Repouso; 2 - Despolarização devido à entrada de iões Na^+ ; 3 - Repolarização devido à entrada de iões K^+ ; 4 - Hiperpolarização devido ao fecho tardio dos canais de K^+ . Adaptado de [25]

Os PPS estão ligados aos fenómenos que ocorrem na membrana pós-sináptica, como se pode observar na figura 3. Quando o potencial de ação chega à sinapse, segrega uma substância química chamada mediador ou transmissor, que causa uma mudança na permeabilidade da membrana pós-sináptica do próximo neurónio. Como resultado, os iões atravessam a membrana e é criada uma diferença nos potenciais ao longo da membrana.

Quando a negatividade no interior do neurónio é diminuída (por exemplo, pela entrada de iões Na^+), a probabilidade de um disparo do neurónio é maior e um potencial excitatório pós-sináptico é criado.

Num mecanismo em tudo semelhante, é também possível criar um potencial pós-sináptico inibitório, desde que seja a negatividade dentro do neurónio aumentar e, desta forma, o neurónio a ficar hiper-polarizado. Ao contrário do potencial de ação, a amplitude dos PPS é proporcional à quantidade do mediador segregado, que depende do grau de excitação do neurónio pré-sináptico. Os PPS têm amplitudes entre 5-10mV e duração de 10-50ms. Um neurónio pode ter bastantes ramificações, podendo ter até dez mil junções sinápticas com outros neurónios. Para se obter uma excitação acima do limiar, as amplitudes de vários PPS têm de se sobrepôr no corpo celular de um neurónio, o que ocorre quer em tempo (chegada de vários PPS em simultâneo a diferentes sinapses), quer em espaço, uma vez que o mesmo neurónio recebe informação proveniente de muitos outros neurónios.

A atividade elétrica dos neurónios gera correntes ao longo da membrana celular, no meio intracelular e extracelular, produzindo um campo elétrico parecido com o de um dipolo elétrico. A observação macroscópica deste campo elétrico requer a sincronização da atividade elétrica de um grande número de dipolos orientados paralelamente. As células

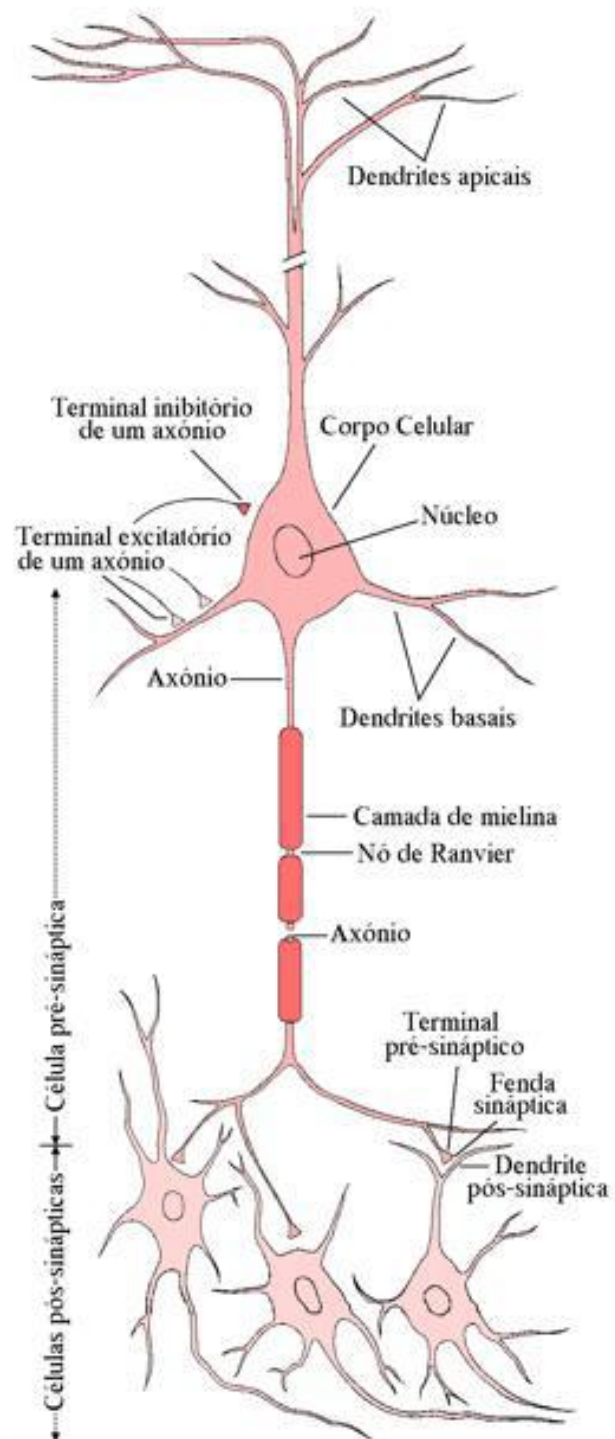


Figura 3. Estrutura de um neurónio. Abaixo estão vários neurónios pós-sinápticos [21]

piramidais do córtex são, em grande parte, paralelas e sincronizadas devido à alimentação comum por conexões tálamo-corticais, o que leva a uma sincronia entre os potenciais pós-sinápticos, que são de duração relativamente longa, sendo insignificante a contribuição dos potenciais de ação para o campo elétrico medido no escalpe. Assim, o registo EEG provém da soma de potenciais pós-sinápticos gerados de forma síncrona. A contribuição para o campo elétrico de neurónios a atuar de uma forma síncrona é aproximadamente proporcional ao seu número, enquanto que para os assíncronos é aproximadamente a raiz quadrada. Por exemplo, se um eletrodo regista sinal de 10^8 neurónios e 1% deles estão a atuar de forma assíncrona, a sua contribuição será cem vezes maior do que a contribuição dos neurónios assíncronos, porque $\frac{10^6}{\sqrt{10^8}} = 100$.

2.3. Sinal de EEG

A gama de frequências das ondas cerebrais é admitida no intervalo de 0,5 a 500 Hz. [26] Dependendo das frequências dos sinais e dos estados de consciência, pode-se classificar vários sinais cerebrais: ritmos delta, teta, alfa, beta e gama (como se pode observar na figura 4). A frequência das medições de interesse de EEG varia de 1 a 80 Hz, com amplitudes de 10 a 100 microvolts [27]. Contudo, nos estudos para encontrar a correlação entre emoções e estímulos musicais, as bandas de frequências mais usadas têm sido alfa, beta e teta (por ex.: [2]-[4][8][9]). Esta divisão em diferentes bandas de frequência ajuda a estudar os fenómenos eletrofisiológicos, sistematizando a informação disponível.

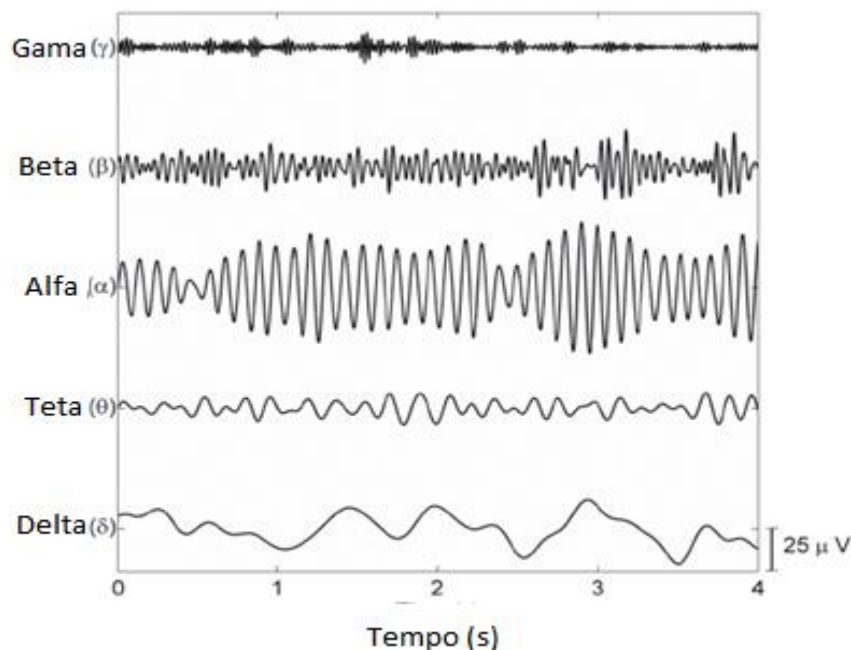


Figura 4. Representação do sinal de EEG, dividido nas várias bandas de frequência estudadas. Adaptado de [2].

2.3.1. Ritmo delta

Frequências entre 0,5Hz e 4Hz. Estão associadas com o sono. Os sinais registados nesta banda de frequências também ajudam a detetar malformações no cérebro, quando frequências delta aparecem no sinal EEG num indivíduo acordado.

2.3.2. Ritmo teta

Frequências entre 4Hz e 8Hz. O ritmo teta está associado estados de sonolência, relaxação profunda e hipnose.

2.3.3. Ritmo alfa

Está relacionado com relaxamento, especialmente quando os olhos estão fechados. A banda de frequências encontra-se entre os 8Hz e os 12Hz. Baixos valores de ritmos alfa indicam

baixos níveis de tensão. O ritmo μ está dentro da banda de frequências do ritmo alfa e está associado com o movimento ou a intenção de movimento.

2.3.4. Ritmo beta

Esta gama de frequências corresponde ao intervalo entre 12Hz e 30Hz. Está associado a fenómenos como a concentração, pensamento e estados de alerta.

2.3.5. Ritmo gama

Frequências acima dos 30Hz. Representam um alto nível de consciência, tensão ou ansiedade.

2.4. Artefatos de sinal

Devido a algumas interferências não neuronais durante o registo dos potenciais no cérebro, surge algum ruído no sinal de EEG. Estas interferências denominam-se artefatos. Podem ser de duas origens:

- Técnicos (extrafisiológicos): flutuação de impedância, quantidade excessiva de gel condutor, movimento dos cabos ou superfície dos elétrodos danificada;
- Fisiológicos: movimento e piscar dos olhos, batimento cardíaco ou sinais eletromiográficos.

I.) Artefatos de rede de energia (extrafisiológicos)

O ruído mais significativo que é adquirido pertence a sinais eletromagnéticos circundantes. Poderá ter maior amplitude que o sinal de interesse. Tipicamente, o sinal de EEG tem amplitudes de 10 a 100 microvolts, enquanto que o sinal da rede de energia facilmente atinge 10 mV a 1V, com frequência de 50Hz (Portugal).

II.) Artefatos Musculares

Os artefatos musculares são caracterizados por surtos de atividade de EEG em frequências altas, sendo facilmente identificados por causa dos altos valores registados em relação à restante atividade em EEG. As frequências registadas são acima dos 30Hz.

III.) Piscar de Olhos

Os artefatos relacionados com o piscar dos olhos são evidentes devido a alterações na condutância derivadas do contacto da pálpebra com a córnea. A frequência é menor que 4Hz e são mais proeminentes nos elétrodos frontais.

IV.) Artefatos de suor

O suor contém água, sais minerais, lactato e ureia. Pode reagir com os elétrodo e alterar a sua impedância, produzindo uma linha de base instável. Se uma área extensiva do escalpe estiver suada, pode resultar numa ponte salina e originar traçados de baixa amplitude (curto-circuito).

2.5. Emotiv EPOC

Durante o trabalho desenvolvido, para a aquisição do sinal de EEG foi usado o dispositivo *Emotiv EPOC®*. Contém 14 canais e 2 elétrodo que ajudam na diminuição do ruído (*CMS/DRL*). O posicionamento está de acordo com o sistema universal 10-20, podendo ser verificado na figura 5.

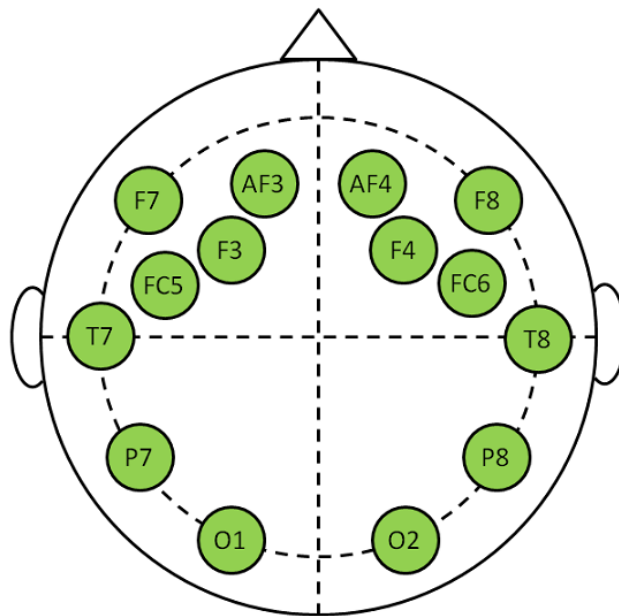


Figura 5. Posicionamento dos elétrodos de aquisição de sinal no Emotiv EPOC. Adaptado de [28].

2.6. Ferramentas de análise de Sinal de EEG

2.6.1. Análise em componentes independentes

A análise em componentes independentes (ACI), é um método estatístico e computacional, que tem como principal objetivo evidenciar fontes escondidas que originam determinados conjuntos de sinais, geralmente obtidos através de sensores. Ou seja, a ACI faz a separação de sinais multivariados (provenientes de uma mistura de várias fontes) em componentes, que são consideradas como aproximações das fontes.

Assumindo que são observadas n misturas de sinais lineares x_1, \dots, x_n de n componentes, tem-se

$$x_i = a_{i1}s_1 + a_{i2}s_2 + \dots + a_{in}s_n \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

sendo:

x_i – mistura inicial de sinais; s_k componente independente (variável aleatória)

Assim, os valores observados $x_i(t)$ resultam numa amostra das variáveis aleatórias s_k . Pode admitir-se que as variáveis de mistura x_i e os componentes independentes s_k têm média igual a zero. Porém, caso não se verifique, as variáveis observadas x_i podem ser centralizadas, subtraindo a média amostral, de forma a pôr a média a zero. Sendo x o vetor dos elementos da mistura inicial de sinais x_1, \dots, x_n , s o vetor dos elementos aleatórios s_1, \dots, s_n e A a matriz de elementos a_{ij} . Todos os vetores são vetores coluna, logo, x^T , ou transposta de x , é um vetor linha. Pela notação matricial, tem-se

$$x = As \quad (2)$$

sendo esta equação denominada por *modelo generativo*. Este modelo representa o vetor x observado, devendo estimar-se tanto a matriz de mistura A como as fontes s . Como referido anteriormente, para que separação possa ser realizada, as componentes devem assumir-se como estatisticamente independentes e com distribuição não-Gaussiana. Desta forma, depois de estimada a matriz A , é possível calcular a matriz inversa, W , sendo necessário que o número de misturas observadas i seja pelo menos igual ao número de componentes estimadas n , i.e., $i \geq n$. Assim, é possível obter as componentes independentes, dadas por:

$$s = Wx \quad (3)$$

A estimativa da matriz A é feita considerando uma combinação linear de x_i , demonstrada por $y = w^T x$, sendo w um vetor que reconstrói cada um dos componentes independentes [29].

2.6.2. Densidade Espectral de Potência

De acordo com a análise de *Fourier*, qualquer sinal físico pode ser decomposto num certo número de frequências discretas, ou num espectro de frequências ao longo de um intervalo contínuo. A média estatística de um determinado sinal ou tipo de sinal (incluindo o ruído), tal como analisada em termos do seu conteúdo de frequência, é chamado o seu espectro. A densidade espectral de potência (DEP) é uma medida da intensidade da potência de um sinal no domínio da frequência. É calculada a partir do espectro do algoritmo de transformada de *Fourier* de um sinal, proporcionando assim uma forma útil para caracterizar a amplitude em função do conteúdo da

frequência de um sinal. É possível, desta forma, verificar onde existe maior atividade cortical em diferentes frequências do sinal de EEG, como se pode verificar na figura 6.

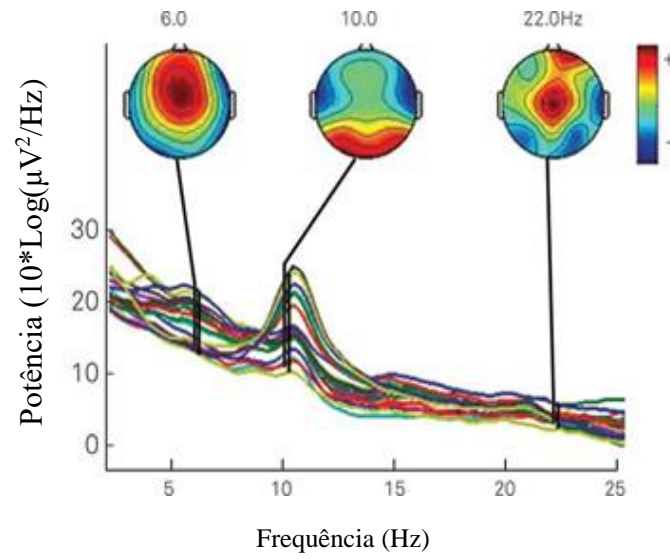


Figura 6. Espectro de potência de sinais de EEG e mapas representativos da distribuição dessa potência no escalpe em três frequências diferentes: 6Hz, 10Hz e 22Hz. Adaptado de [18].

3. Materiais e Métodos

A metodologia desenvolvida no âmbito da dissertação teve o objetivo principal de evidenciar diferentes padrões de resposta de EEG consoante um determinado estímulo sonoro musical. Para se evidenciar os quatro quadrantes do plano bidimensional da valência-excitação, foram selecionados diferentes trechos musicais correspondentes a:

- 1) valência positiva e baixos níveis de excitação (induzir um estado emotivo de serenidade);
- 2) valência positiva altos níveis de excitação (alegria);
- 3) valência negativa e baixos níveis de excitação (tristeza);
- 4) valência negativa e altos níveis excitação (medo).

Após a escolha dos vários excertos musicais, selecionou-se a população a fazer a aquisição do sinal de EEG, dividida em dois grupos distintos: indivíduos com formação musical e indivíduos sem formação musical, num total de dezasseis pessoas. Foram utilizados doze estímulos musicais no protocolo experimental, três para cada emoção a evocar. A aquisição de sinal foi efetuada no Laboratório de Informática Musical da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa. Depois de todas as aquisições de sinal serem efetuadas, os dados eletroencefalográficos foram analisados utilizando o *software Matlab*® [30] e também um seu plug-in, o *EEGLAB* [31].

3.1. Seleção da Amostra

Com base em trabalhos anteriores, estima-se que a resposta fisiológica aos mesmos excertos musicais seja diferente para indivíduos com e sem formação auditiva específica. Por isso, surge a necessidade de dividir a população do estudo em duas categorias: músicos e não-músicos. A amostra de indivíduos com formação auditiva específica foi recolhida através de uma parceria entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT-UNL) e a Faculdade de Ciências Sociais e Humanas (FCSH-UNL), com a participação de alunos de licenciatura em Ciências Musicais. Em relação à população de não-músicos, a aquisição do sinal foi efetuada com alunos da FCT-UNL. A população consistiu, então, em oito alunos de licenciatura em Ciências Musicais e oito alunos da FCT sem quaisquer estudos musicais (conservatório, escolas de música, aulas particulares), onde dez eram do género feminino e seis do género masculino. A idade média do conjunto de voluntários foi de 20,8 anos, com desvio-padrão de 1,4 anos.

3.2. Protocolo Experimental

Em relação à duração dos excertos sonoros a aplicar, estudos anteriores têm usado estímulos entre os vinte e os sessenta segundos ([2]-[5], por exemplo). Posto isto, fez-se uma seleção de excertos musicais com as diferentes características de valores de valência e excitação.

O protocolo criado é constituído por doze excertos musicais, três para cada uma das quatro emoções dos diferentes quadrantes do plano da excitação-valência (tristeza, serenidade, alegria, medo). Os estímulos têm durações entre os 41 e os 77 segundos. Os excertos foram divididos em quatro de música clássica adaptados de [2] e oito de uma base de dados de excertos de bandas sonoras de filmes [32]. Na tabela 1 pode-se observar a estrutura do protocolo efetuado quanto às emoções a evocar por cada excerto. No apêndice A pode-se consultar a origem dos excertos e a sua duração. Os estímulos de 1 a 4 foram adquiridos através de uma biblioteca existente na *Wikipedia Sound List* [33] e os estímulos de 5 a 12 através da página inerente ao estudo efetuado em [32]. Todos os estímulos foram normalizados com o programa *Audacity*®.

| | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|------|------------|----------|------|------------|---------|------|----------|---------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Alegria | Tristeza | Medo | Serenidade | Tristeza | Medo | Serenidade | Alegria | Medo | Tristeza | Alegria | Serenidade |

Tabela 1. Estrutura do protocolo experimental em relação à emoção a induzir pelos vários estímulos musicais usados.

Os excertos musicais a utilizar no protocolo foram modificados no editor de áudio *Audacity*®, para que houvesse um silêncio de 15 segundos quer no início quer no final de cada estímulo. Esta pausa surge para comparar a dinâmica da atividade cerebral em três momentos distintos: pré-estímulo, estímulo e pós-estímulo. A aquisição pré-estímulo e pós-estímulo teve também a finalidade de recuperar a atividade de repouso após o preenchimento do questionário, entre as audições dos excertos. Após essas pausas, foi necessário garantir que o voluntário voltava a fixar o olhar no ecrã, a sentar-se de uma forma confortável e a tomar atenção ao próximo estímulo sonoro.

3.3. Aquisição do Sinal de EEG

As aquisições de sinal realizaram-se no Laboratório de Informática Musical da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa. O espaço consiste num estúdio isolado com duas colunas viradas para o centro a 1,95 metros de uma cadeira confortável e uma mesa, onde estava, também, um ecrã preto e uma cruz branca fixa no centro. O objetivo desta cruz é o de permitir que o indivíduo não se distraia com estímulos visuais na restante área da sala de aquisição. Pode-se observar na figura 7 a preparação do espaço de aquisições de sinal. Garantiu-se que todos os dispositivos de telecomunicações estavam desligados antes das aquisições de sinal.



Figura 7. Aquisições de sinal de EEG no Laboratório de Informática Musical. Preparação do protocolo experimental.

3.3.1. Preparação do *Emotiv EPOC*

A preparação do capacete para a posterior utilização foi bastante simples, sendo apenas necessária a garantia de que o dispositivo estava com bateria, visto que funciona por *Bluetooth*[®]. Antes de qualquer utilização, foi necessário, também, hidratar os elétrodos com um líquido de solução salina, para permitir uma boa condução da atividade elétrica na zona do escalpe.

Após a hidratação, colocou-se o capacete nos voluntários e inicializou-se a aplicação *TestBench*, inerente ao *Emotiv EPOC*. [34] Esta aplicação permite a aquisição do sinal de EEG. Como se pode verificar na figura 8, cada canal corresponde a um elétronodo que é no gráfico apresentado com várias cores, consoante a qualidade de sinal que está a ser adquirido: preto, sinal inexistente; vermelho, laranja ou amarelo, não se estabeleceu uma boa condutividade com o escalpe; verde, boa qualidade de sinal.

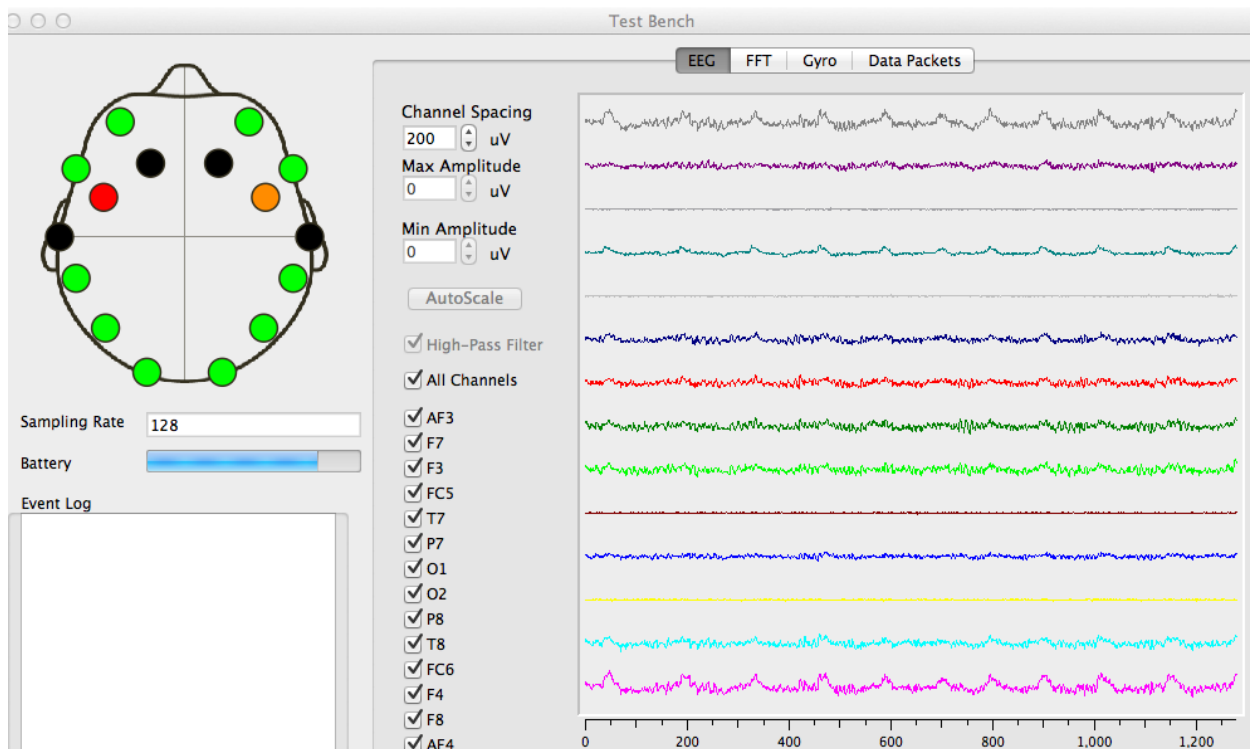


Figura 8. Exemplo de aquisição de EEG no *TestBench*. É possível ter informação em tempo real relativamente à qualidade de sinal de cada eléctrodo, visualizar os artefactos de sinal e ter informação sobre o nível da bateria do dispositivo de aquisição.

3.3.2. Questionário

Aquando da aquisição do sinal, foi lido aos voluntários o mesmo texto introdutório para que a informação dada no momento pré-protocolo fosse exatamente a mesma para todos. Inicialmente foi pedido para que o voluntário se sentasse relaxado e com os olhos fixos na cruz branca do ecrã que se encontrava à sua frente, para se evitar a presença de estímulos visuais exteriores. Foi-lhes pedido, também, para não pensarem em nada em concreto, com o objetivo de o voluntário se focar na audição dos estímulos e também para evitar artefactos musculares. Também foi pedido para que não efetuasse inspirações muito profundas nem movimentos dos músculos faciais, principalmente na zona da testa, com a finalidade de evitar quaisquer artefactos musculares no sinal de EEG. Com o objetivo de haver uma resposta emocional mais clara, os voluntários foram aconselhados a exponenciar ao máximo as sensações que cada excerto lhes transmitisse. Após cada estímulo, havia uma indicação para começar a preencher o questionário. Após o preenchimento, deveria sentar-se confortavelmente à espera do início de um novo excerto, imóvel, em silêncio e a olhar para a cruz no ecrã novamente.

Em relação ao questionário efetuado, após a audição de cada estímulo, cada voluntário teve de preencher algumas questões relacionadas com a emoção provocada. As questões seriam avaliadas

de 1 a 9 e relacionadas com:

Valência – se o excerto musical transmitiu uma emoção “positiva” ou “negativa”. Ou seja, se o voluntário respondesse 1 seria uma emoção muito negativa, enquanto que 9 muito positiva. A avaliação de 5 corresponderia a uma emoção neutra.

Excitação – se o excerto provocou uma emoção muito intensa (avaliação perto de 9) ou pouco intensa (avaliação perto de 1). A avaliação de 5 corresponderia a uma emoção de intensidade moderada.

Após o preenchimento em relação ao campo da valência/excitação, seguiram-se algumas questões acerca de emoções concretas: tensão, medo, raiva, alegria, tristeza e serenidade. A avaliação de 1 correspondia à ausência dessa emoção provocada e a avaliação de 9 a grande intensidade. No apêndice E pode-se verificar a estrutura do questionário.

3.3.3 Análise dos dados eletroencefalográficos

Após a interpretação dos dados dos questionários, segue-se a análise dos dados eletroencefalográficos. Serão testadas as teorias propostas por trabalhos anteriores, relativamente à análise da valência e da excitação, causadas pela audição de diferentes estímulos musicais.

A aquisição de dados foi realizada nos 14 elétrodos disponíveis no Emotiv EPOC: AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1 e O2.

A todos os sinais foi aplicado um filtro passa banda de 4Hz a 30Hz, para que apenas estivessem incluídas as bandas de frequência teta (4-8Hz), alfa (8Hz-12Hz) e beta (12Hz-30Hz).

Com o processamento de dados em ACI, foram removidas as componentes correspondentes ao piscar dos olhos e outros artefatos musculares que afetassem caoticamente o sinal de EEG. Isto foi possível devido ao *plug-in* de ACI inerente à plataforma *EEGLAB*.

Após a remoção das componentes relativas a artefatos de sinal, executava-se um código relativo à extração da potência média em três bandas de frequência diferentes: teta (4-8Hz), alfa (8-12Hz) e beta (12-30Hz). Estes valores eram registados num ficheiro de dados, para mais tarde serem utilizados nos vários indicadores.

Após o protocolo experimental, os ficheiros correspondentes aos doze sinais adquiridos no TestBench foram guardados. O tratamento do sinal realizou-se no *Matlab* e *EEGLAB*. Os passos efetuados para o tratamento foram os seguintes:

- (1) Iniciar o *Matlab*;
- (2) Iniciar o *EEGLAB*;

- (3) Selecionar o ficheiro a ler;
- (4) Selecionar todos os elétrodos disponíveis do *Emotiv EPOC*;
- (5) Aplicar o filtro de passa-banda, no intervalo [4;30]Hz;
- (6) Correr o algoritmo de análise em componentes independentes (ACI);
- (7) Remover as componentes relacionadas com artefatos de sinal (ocular e/ou muscular);
- (8) Remover alguns artefatos ao longo do sinal, manualmente;
- (9) Guardar o ficheiro, que corresponde ao sinal de EEG que contém o silêncio pré-estímulo, o estímulo e pós-estímulo;
- (10) Remover o silêncio inicial e final, correspondentes à ausência de estímulo;
- (11) Guardar um novo ficheiro, contendo apenas o estímulo;
- (12) Executar o código no *MATLAB* relativo à extração do valor de DEP média nas bandas teta, alfa e beta, para os elétrodos AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5 e FC6.

3.4. Análise do Sinal de EEG

Após a aquisição dos dados eletroencefalográficos, surge a necessidade de tratar o sinal através de diferentes procedimentos. O sinal de EEG necessita de ser filtrado e processado para poder ser analisado. Com a finalidade de analisar um bom sinal de EEG, há vários passos a tomar. Como o objetivo final seria extrair diferentes valores de potência média nas bandas de frequência alfa e beta, há a necessidade de recorrer ao algoritmo de Densidade Espectral de Potência (DEP) existente no Matlab.

O sinal de EEG adquirido foi analisado no programa *MATLAB*® e num *plug-in* existente para análise de dados eletroencefalográficos, o *EEGLAB*.

Como o trabalho a desenvolver está baseado na análise de diferentes bandas de frequências, há a necessidade de haver uma ferramenta que divida o sinal de EEG em diferentes constituintes. O *EEGLAB* contém algoritmos de Transformada de *Fourier*, conseguindo assim criar espectros de densidade espectral de potência (DEP). Consegue também fazer a ACI, o que é fulcral na rejeição de artefatos de sinal. Por fim, ainda é possível a criação de mapas de DEP para diferentes frequências, onde será possível verificar as tendências na resposta cerebral relativas à audição dos estímulos musicais.

4. Resultados

4.1. Análise dos Questionários

Após todo o protocolo experimental, os valores de valência e excitação de todos os questionários foram agrupados em dois grupos distintos: músicos e não-músicos. Esta separação tem como objetivo averiguar se numa primeira aproximação os músicos e não-músicos respondem de diferente forma ao mesmo conjunto de excertos musicais. Nas figuras 10 e 11 podem-se verificar os gráficos do plano da valência-excitação relativos aos resultados dos questionários, entre os dois grupos distintos de voluntários.

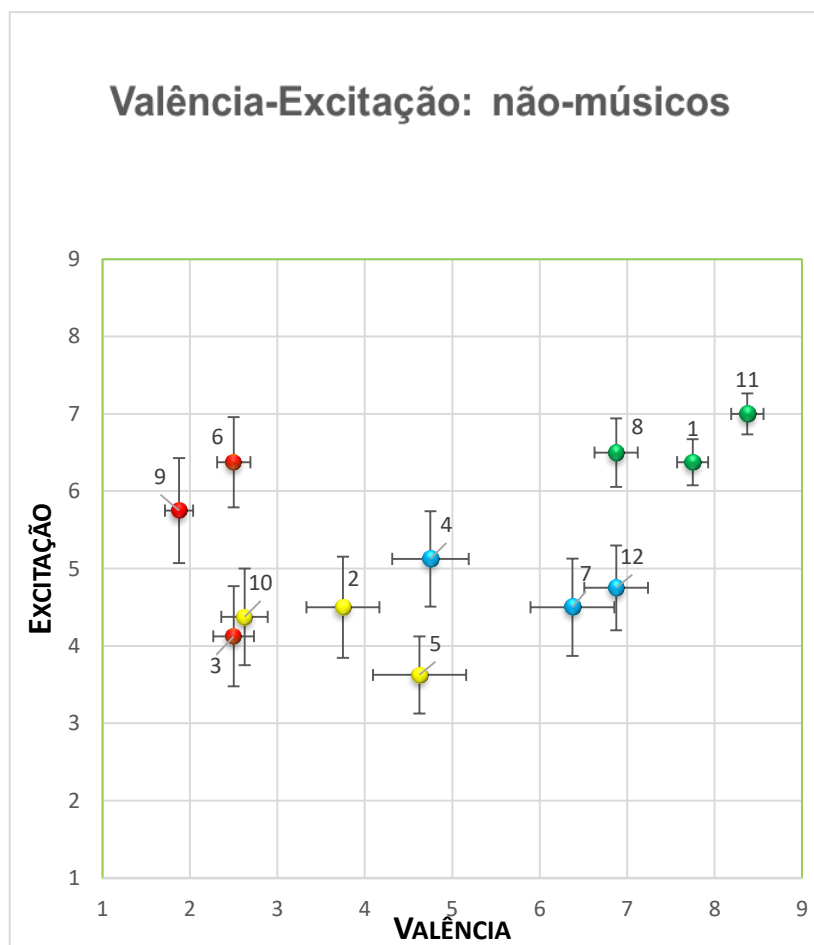


Figura 9. Classificações dos questionários para não-músicos. A verde os excertos de alegria, a azul os de serenidade, a amarelo os de tristeza e a vermelho os de medo. Para cada estímulo, encontram-se também os erros-padrão da valência e excitação. Os vários números correspondem aos estímulos utilizados no protocolo experimental.

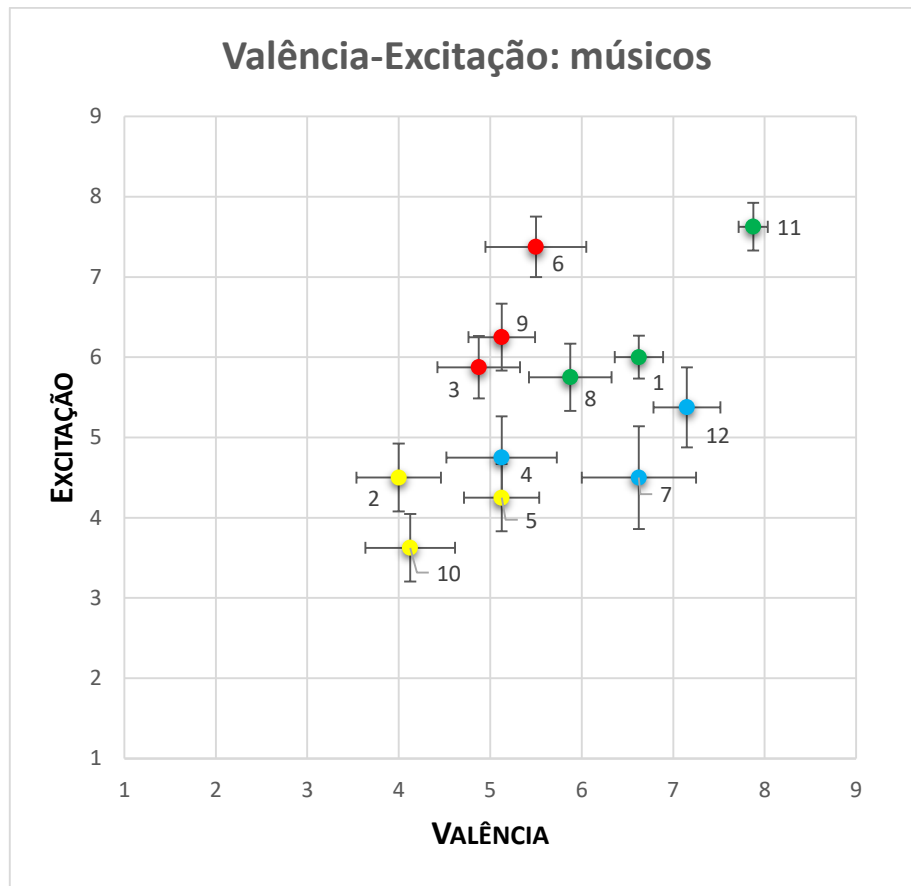


Figura 10. Classificações para músicos. A verde os excertos de alegria, a azul os de serenidade, a amarelo os de tristeza e a vermelho os de medo. Para cada estímulo, encontram-se também os erros-padrão da valência e excitação. Os vários números correspondem aos estímulos utilizados no protocolo experimental.

Analisando o gráfico da distribuição das classificações dos excertos por parte dos não-músicos, os excertos estão, em geral, agrupados consoante o seu quadrante, ou seja, os de alegria mais acima e à direita, os de medo acima à esquerda, os de tristeza em baixo à esquerda e os de serenidade em baixo à direita. No caso do excerto 3, está abaixo dos excertos 2 e 10 em relação a níveis de excitação, o que poderá significar que para este grupo de voluntários, ao excerto 3 não foi atribuída uma emoção tão próxima do medo quanto se esperava. De resto, há que salientar também que o excerto 4 (serenidade) está fora do seu quadrante, estando na mesma gama de valência do excerto 5 (tristeza), com diferentes valores de excitação, o que não será também um resultado estranho, uma vez que, neste contexto, estas duas emoções poderão facilmente se confundir.

Em relação aos músicos, oito excertos foram atribuídos corretamente aos seus quadrantes correspondentes, estando os estímulos 5, 6 e 9 deslocados ligeiramente para a direita, no eixo da valência, e o excerto 12 ligeiramente para cima no eixo da excitação, em relação ao seu quadrante análogo.

Comparando ambos os gráficos, os valores de valência obtidos no grupo dos não-músicos é muito mais abrangente do que nos indivíduos não-músicos. Nos não-músicos os valores de valência estão no intervalo [1,9; 8,4], comparativamente com os músicos, que estão entre os valores [4,0; 7,9].

É de notar, no caso dos não-músicos, uma distribuição das classificações da excitação semelhante aos valores da excitação dos músicos, tendo classificações no intervalo [3,6;7,0] e [3,6; 7,6], respetivamente.

Comparando a avaliação dos excertos de valência negativa entre músicos e não-músicos, é de notar que a avaliação foi mais satisfatória no caso dos não-músicos. Esta evidência é corroborada pela avaliação das avaliações presentes nos estímulos musicais no apêndice C, onde se verifica que as emoções relativas à valência negativa (tristeza e medo) têm percentagens superiores no caso dos não-músicos, comparando com os músicos. Verifica-se, também, no apêndice C, que as percentagens da emoção presente em excertos de valência positiva (serenidade e alegria) são muito superiores às percentagens de emoções presentes nos estímulos de valência negativa, em ambos os grupos de indivíduos.

4.2. Análise dos dados eletroencefalográficos

4.2.1. Estudo da Valência

A premissa para a análise da valência está assente numa assimetria entre os hemisférios frontais, onde os vários indicadores a testar estão baseados [2][8][20]. Trabalhos anteriores sugerem que a valência positiva exprime-se numa maior atividade frontal esquerda, enquanto que a valência negativa exprime-se numa maior atividade frontal direita.

Para se poder analisar a valência evocada, é necessário recorrer a indicadores que analisem a atividade neural correspondente à audição do estímulo. Através da comparação de valores de DEP em ambos os hemisférios, é possível estudar a resposta cerebral à audição dos estímulos sonoros. Foram utilizados seis indicadores para a avaliação da valência – positiva ou negativa –, correspondentes a cada excerto. Os valores de DEP alfa conseguem evidenciar onde existe maior atividade global no cérebro. A baixos valores de DEP alfa, está associada uma maior atividade geral do cérebro. [2]. É de esperar que em excertos de valência positiva haja uma menor DEP alfa no hemisfério esquerdo em relação ao direito, ou seja, maior atividade cortical no hemisfério esquerdo, comparando com o direito. Nos excertos de valência negativa espera-se exatamente uma resposta contrária, menor DEP alfa no hemisfério direito, comparando com o hemisfério esquerdo, porque espera-se maior atividade cortical no hemisfério direito, em relação ao esquerdo.

Na tabela 2, podem-se observar as diferentes expressões para os indicadores de nível de valência da emoção, através da análise das DEP médias nas bandas alfa (indicadores 1., 2., 3., 4. e 5.) e alfa/beta (indicador 6.).

| Caraterística em EEG | Descrição | Fórmula |
|---|--|---|
| 1. Valência Total Frontal (alfa) | Valores de valência entre os elétrodos AF4, F4, F8, FC6 e AF3, F3, F7, FC5 | $(\alpha AF4 + \alpha F8 + \alpha F4 + \alpha FC6) - (\alpha AF3 + \alpha F7 + \alpha F3 + \alpha FC5)$ |
| 2. Valência AF4-AF3 (alfa) | Valência entre os elétrodos AF4 e AF3. | $\alpha AF4 - \alpha AF3$ |
| 3. Valência F8-F7 (alfa) | Valência entre os elétrodos F8 e F7. | $\alpha F8 - \alpha F7$ |
| 4. Valência F4-F3 (alfa) | Valência entre os elétrodos F4 e F3. | $\alpha F4 - \alpha F3$ |
| 5. Valência FC6-FC5 (alfa) | Valência entre os elétrodos FC6 e FC5. | $\alpha FC6 - \alpha FC5$ |
| 6. Valência F4-F3 (alfa e beta) | Valência entre os elétrodos F4 e F3 com valores de DEP alfa e beta | $(\alpha F4/\beta F4) - (\alpha F3/\beta F3)$ |

Tabela 2. Diferentes algoritmos para análise da valência. Adaptado de [20].

A expressão 1. compara a atividade cerebral total na zona frontal entre hemisférios. Ao somatório dos valores da DEP média em alfa no hemisfério direito frontal (AF4, F8, F4 e FC6) é subtraído o somatório da DEP média em alfa nos elétrodos do hemisfério esquerdo frontal (AF3, F7, F3 e FC5). Se o resultado for positivo, significa que existe menor DEP alfa no hemisfério esquerdo, ou seja, há maior atividade cortical no hemisfério esquerdo, portanto, a valência é positiva. Se o resultado da equação for negativo, existe menor DEP alfa no hemisfério direito, por isso existe maior atividade cerebral no hemisfério direito, o que corresponde a uma valência negativa.

As expressões 2., 3., 4., e 5., à semelhança de 1., comparam a assimetria entre os hemisférios na zona frontal, recorrendo à diferença entre os valores de DEP em alfa. Se o resultado da diferença entre os elétrodos for positivo, significa que existe menor DEP alfa no hemisfério esquerdo, o que se traduz numa maior atividade cortical no mesmo hemisfério. Se o resultado for negativo, existe menor DEP no hemisfério direito, o que significa maior atividade no hemisfério direito e, por conseguinte, a valência é negativa.

O indicador 6. é mais complexo e envolve a DEP nas bandas alfa e beta nos elétrodos F3 e F4. A valência positiva é provada por uma maior DEP alfa no hemisfério direito (F4) e menor DEP alfa no hemisfério esquerdo (F3). Na banda beta, a valência positiva traduz-se numa maior DEP no hemisfério esquerdo, em relação ao direito. Posto isto, um resultado positivo da diferença entre os rácios para a DEP alfa e DEP beta nos elétrodos F4 e F3, significa uma valência emocional positiva, visto que para isso acontecer existe maior DEP alfa no hemisfério direito e maior DEP beta no hemisfério esquerdo, comparados com a DEP alfa no hemisfério esquerdo e DEP beta no hemisfério direito. Quando o resultado é negativo, significa que aconteceu o contrário do que foi dito, existe maior DEP alfa no hemisfério esquerdo e maior DEP beta no hemisfério direito, comparados com a DEP alfa no hemisfério direito e DEP beta no hemisfério esquerdo.

Nas tabelas 3 e 4, encontram-se as taxas de sucesso da avaliação da valência dos estímulos. Estão presentes os seis indicadores aplicados nas duas diferentes populações.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1. Val. Total | 100% | 0% | 13% | 75% | 0% | 13% | 100% | 100% | 13% | 13% | 100% | 88% |
| 2. AF4-AF3 | 88% | 25% | 25% | 75% | 13% | 0% | 88% | 100% | 25% | 25% | 100% | 88% |
| 3. F8-F7 | 88% | 13% | 13% | 75% | 13% | 25% | 88% | 100% | 13% | 25% | 100% | 75% |
| 4. F4-F3 | 100% | 38% | 50% | 75% | 25% | 63% | 100% | 100% | 50% | 38% | 100% | 100% |
| 5. FC6-FC5 | 100% | 0% | 25% | 75% | 13% | 13% | 100% | 100% | 0% | 13% | 100% | 100% |
| 6 F4-F3 (alfa/beta) | 75% | 35% | 35% | 63% | 25% | 50% | 33% | 88% | 50% | 38% | 100% | 88% |

Tabela 3. Taxas de sucesso dos vários indicadores aplicados para a classificação da valência dos doze estímulos utilizados no protocolo, nos indivíduos músicos. A negrito estão assinaladas a melhores taxas de sucesso da avaliação da valência, para um determinado excerto musical.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1. Val. Total | 100% | 38% | 25% | 75% | 38% | 38% | 100% | 100% | 13% | 0% | 100% | 88% |
| 2. AF4-AF3 | 75% | 25% | 13% | 63% | 25% | 38% | 100% | 88% | 43% | 25% | 100% | 88% |
| 3. F8-F7 | 88% | 38% | 13% | 63% | 38% | 25% | 100% | 88% | 25% | 0% | 100% | 75% |
| 4. F4-F3 | 88% | 65% | 50% | 88% | 38% | 50% | 100% | 100% | 38% | 55% | 100% | 100% |
| 5. FC6-FC5 | 100% | 25% | 13% | 75% | 25% | 13% | 75% | 88% | 0% | 13% | 100% | 100% |
| 6 F4-F3 (alfa/beta) | 75% | 38% | 38% | 50% | 25% | 40% | 75% | 75% | 50% | 38% | 88% | 88% |

Tabela 4. Taxas de sucesso dos vários indicadores aplicados para a classificação da valência dos doze estímulos utilizados no protocolo, nos indivíduos não-músicos. A negrito estão assinaladas a melhores taxas de sucesso da avaliação da valência, para um determinado excerto musical.

É notável, tanto nos músicos como nos não-músicos, que o indicador da avaliação da valência nos elétrodos F4 e F3 (4.) é o que tem maiores taxas de sucesso. Na tabela 3, está presente em todos os estímulos como o indicador mais bem-sucedido para a avaliação do tipo de valência. Na tabela 4, só nos estímulos 1 e 9 é que este indicador não foi o que prevaleceu com maior taxa de sucesso.

Após as taxas de sucesso para os estímulos individualmente, verificou-se a taxa de sucesso de todos os indicadores nos estímulos de valência positiva. Efetuou-se a média das taxas de sucesso para os estímulos de valência positiva (1, 4, 7, 8 11 e 12). Na tabela 5 pode-se verificar a eficácia de deteção da natureza da valência positiva de um estímulo.

| | 1. Valência Total Frontal (alfa) | 2. Valência AF4-AF3 (alfa) | 3. Valência F8-F7(alfa) | 4. Valência F4-F3 (alfa) | 5. Valência FC6-FC5 (alfa) | 6. Valência F4-F3 alfa/beta |
|--------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Músicos | 94% | 88% | 88% | 94% | 94% | 74% |
| Não-Músicos | 94% | 85% | 85% | 96% | 90% | 75% |
| Total | 94% | 86% | 86% | 95% | 92% | 75% |

Tabela 5. Diferentes médias das taxas de sucesso para a deteção da valência dos estímulos de valência positiva, tanto nos músicos como nos não-músicos.

Ao analisar as taxas de sucesso da tabela 5, os valores para os músicos e não-músicos são bastante semelhantes. O indicador da valência F4-F3 (alfa), como já referido pelos resultados nas tabelas 3 e 4, é o indicador com maiores taxas de sucesso, com um total de 95% de exatidão na detecção da valência positiva de um estímulo sonoro. Comparando as expressões 4. e 6., nota-se uma grande queda nas taxas de sucesso, nos músicos e não-músicos. Uma possível explicação para este acontecimento, reside no fato de o comportamento das DEP na banda beta (12-30Hz) não ser o esperado. Seria de esperar para a valência positiva, uma maior DEP beta no hemisfério esquerdo frontal e tal não aconteceu em muitos dos casos. Ou seja, quando existe uma supressão da DEP alfa, é de esperar que as DEP beta aumentem, e tal não aconteceu na totalidade dos eventos. Uma explicação para este caso, é o fato de a banda beta ter valores bastante próximos dos valores mais altos de alfa, daí a sub-banda mais baixa de beta ter um comportamento semelhante à banda alfa. Por outro lado, a supressão da banda alfa está associada ao aumento de bandas de frequência superiores, como por exemplo a banda gama, o que poderá explicar a fraca correlação entre a supressão da DEP alfa e aumento da DEP beta [35].

Também foram efetuadas as médias das taxas de sucesso para os estímulos de valência negativa nos vários indicadores, como se pode evidenciar na tabela 6.

| | 1. Valência Total Frontal (alfa) | 2. Valência AF4-AF3 (alfa) | 3. Valência F8-F7 (alfa) | 4. Valência F4-F3 (alfa) | 5. Valência FC6-FC5 (alfa) | 6. Valência F4-F3 alfa/beta |
|--------------------|--|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Músicos | 8% | 19% | 17% | 44% | 10% | 39% |
| Não-Músicos | 25% | 28% | 23% | 49% | 15% | 38% |
| Total | 17% | 23% | 20% | 46% | 13% | 38% |

Tabela 6. Diferentes médias das taxas de sucesso para a detecção da valência dos estímulos de valência negativa, tanto nos músicos como nos não-músicos.

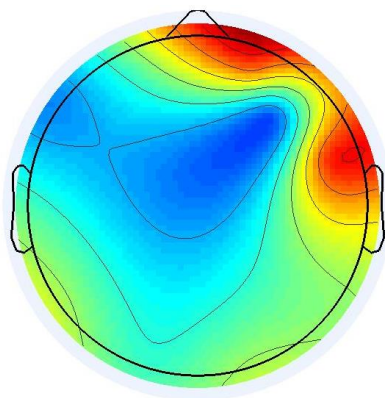
Quanto às taxas de sucesso para estímulos de valência negativa, o indicador da valência F4-F3 (alfa) é, uma vez mais, o que tem maior taxa de sucesso de todos os indicadores testados. Nota-se, também, um decréscimo significativo do indicador 4. para o 6., onde a explicação para este acontecimento é exatamente a mesma mencionada em relação à tabela 5.

As taxas de sucesso para a valência negativa foram bastante inferiores à da valência positiva, tanto nos músicos como nos não-músicos. Na verdade, evocar uma resposta a um estímulo musical de valência negativa é mais complexo do que evocar uma resposta a um estímulo de valência positiva. Um indivíduo ao escutar um excerto musical que evoque tristeza ou medo, apesar de na

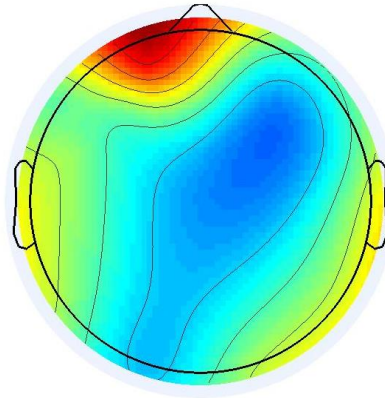
sua opinião achar que o excerto induz uma emoção mais negativa, há sempre a componente subjetiva do prazer associado à audição da música. Por mais triste ou emocionado que alguém possa ter ficado a ouvir música, pode ter tido um enorme prazer a escutá-la.

Ao contrário dos resultados para os músicos e não-músicos na tabela 5, para os estímulos de valência negativa, as taxas de sucesso foram, consistentemente, superiores nos indivíduos não-músicos, comparando com os indivíduos músicos. Em todos os indicadores, exceto no 6., a taxa de sucesso de classificação de uma valência negativa é maior para os não-músicos do que para os músicos. A justificação para esta ocorrência reside, no nosso entender, no fato de os músicos analisarem a componente técnica e composicional inerente à estrutura musical dos excertos. Este processamento cognitivo induz, de certo modo, uma sensação de prazer, que afeta a resposta emocional. A resposta emocional será, também, mais fraca comparando com os indivíduos sem formação musical, que não fazem esta análise mais técnica.

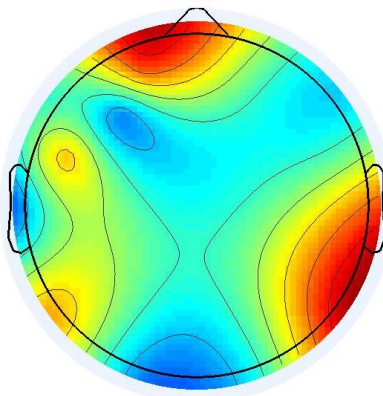
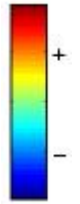
Através do *EEGLAB*, foi possível a criação de mapas de DEP nas bandas alfa e beta. Esta ferramenta foi utilizada para verificar as tendências na atividade cortical frontal, em ambos os hemisférios, para os estímulos de diferentes valências e diferentes níveis de excitação. Após a análise dos mapas de DEP de todos os indivíduos, foi selecionado um conjunto de imagens de apenas um voluntário. Na figura 11 podem-se observar os diferentes valores de DEP para estímulos musicais de valências diferentes, com níveis altos de excitação – estímulo 11 (alegria) e estímulo 9 (medo).



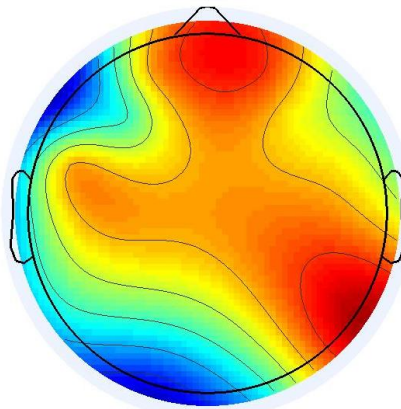
(i) Valência positiva – **alfa**
Estímulo 9



(ii) Valência negativa – **alfa**
Estímulo 11



(iii) Valência positiva – **beta**
Estímulo 9



(iv) Valência negativa – **beta**
Estímulo 11

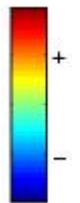


Figura 11. Mapas de densidade espectral de potência para os estímulos de diferentes valências. Na parte superior, os mapas relativos à DEP alfa. Na parte inferior, os mapas relativos à DEP beta.

Através da observação dos mapas dos estímulos com valências diferentes, pode-se denotar os diferentes pontos-chave já anteriormente referidos: em alfa, maior supressão da DEP no hemisfério esquerdo frontal, ao que corresponde maior atividade cortical. Este evento é corroborado pela DEP na banda beta, onde se verifica maior DEP no hemisfério esquerdo, correspondente, também, a uma maior atividade cortical no hemisfério esquerdo e na zona frontal. Quanto aos mapas referentes à valência negativa, observa-se exatamente o contrário: há uma diminuição da DEP no hemisfério direito frontal, o que representa maior atividade cortical. O mesmo acaba por ser evidenciado pelo mapa na banda beta, onde se registam maiores valores de DEP no hemisfério direito frontal.

Nas figuras 12 e 13, podem-se observar os gráficos relativos aos valores de DEP média na banda alfa, nos elétrodos na zona frontal (F3 e F4), visto que foram os elétrodos mais bem-sucedidos a classificar a valência da emoção. Para a diferenciação de diferentes valências, estudam-se os valores quanto à assimetria entre os hemisférios frontais.

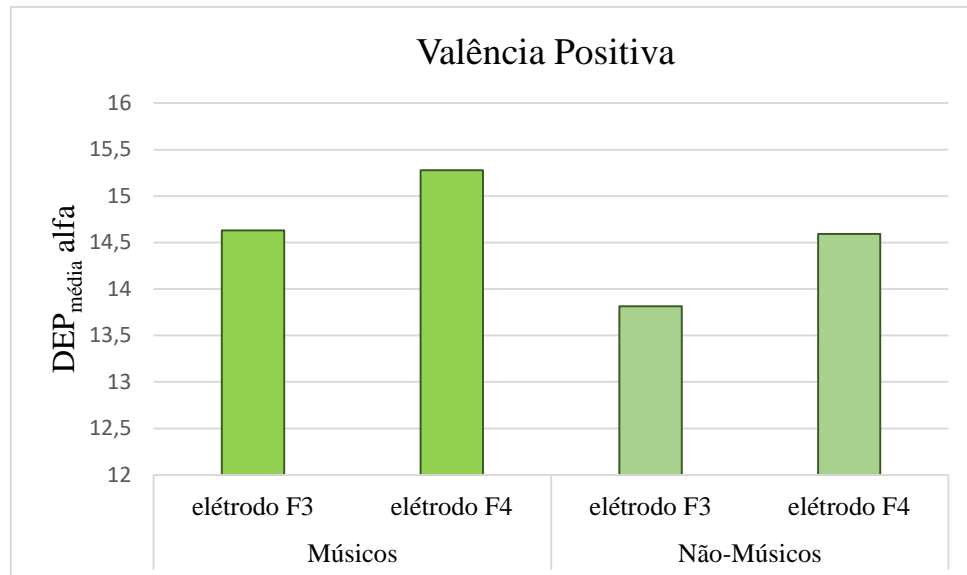


Figura 12. Diferentes valores de DEP média na banda alfa, para o estímulo de valência positiva 11, nos grupos de músicos e não-músicos. Observam-se menores valores de DEP alfa no elétrodo F3 (maior atividade no hemisfério esquerdo), comparando com o elétrodo F4. Este acontecimento verifica-se em ambas as populações.

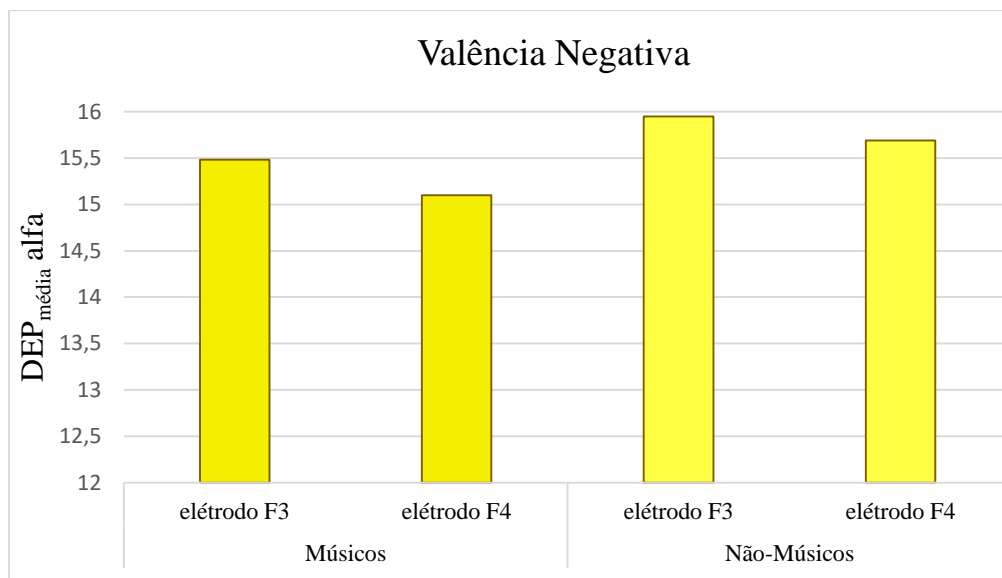


Figura 13. Diferentes valores de DEP média na banda alfa, para o estímulo de valência negativa 10, nos grupos de músicos e não-músicos. Observam-se menores valores de DEP alfa no elétrodo F4 (maior atividade no hemisfério direito), comparando com o elétrodo F3. Este acontecimento verifica-se em ambas as populações.

Começando pela evidência da valência positiva enquanto emoção evocada pelo estímulo 11, pode-se denotar uma maior DEP na banda alfa no hemisfério direito frontal, o que significa que está existe maior atividade cortical no hemisfério esquerdo do que no direito, o que acaba por ser corroborado pelo espectro de DEP na banda beta, para o mesmo estímulo.

No que diz respeito ao estímulo de valência negativa, tem-se exatamente o contrário, quando comparado com a valência positiva. Há, na banda alfa, um registro de menor DEP no hemisfério esquerdo, que se exprime, como já foi referido em anteriores discussões, numa maior atividade cortical.

4.2.2. Estudo da Excitação

Como já mencionado anteriormente, a excitação de um estímulo é evidenciada por uma maior atividade global frontal. Em estímulos de baixa excitação, a resposta cerebral consiste numa menor atividade frontal, em ambos os hemisférios. Relativamente aos estímulos com altos níveis de excitação, é de esperar uma maior atividade frontal, também em ambos os hemisférios. Na análise da DEP em alfa estes eventos exprimem-se, então, em duas situações diferentes: para os estímulos de baixa excitação, valores altos de DEP alfa frontal (menor atividade); para os estímulos de alta excitação, valores baixos de DEP alfa frontal (maior atividade).

Realizou-se a comparação dos valores de excitação entre estímulos de baixa excitação e alta excitação. Contrariamente ao estudo da valência, não é possível extrair os valores de excitação som a som porque as diferenças de valores de DEP alfa frontal são bastaste ligeiras, daí ser necessária a soma dos valores de DEP nos dois grandes blocos de dados eletroencefalográficos: todos os excertos de baixa excitação e todos os excertos de alta excitação. Efetuou-se a soma dos valores de DEP alfa nos quatro pares diferentes de elétrodos frontais (AF4 e AF3, F8 e F7, F4 e F3, FC6 e FC5), entre os estímulos de níveis de excitação diferentes. Ou seja, efetuou-se a soma para os estímulos de elevada excitação (1, 3, 6, 8, 9, 11) e para os de baixa excitação (2, 4, 5, 7, 10, 12). De seguida foram comparados os valores totais de potência alfa entre estes diferentes grupos. Era de esperar que os valores de potência alfa nos estímulos de baixa excitação fossem maiores que os de alta excitação, visto que maior potência alfa representa menor atividade cortical. Para os estímulos de grandes níveis de excitação acontece o contrário, a soma total das potências alfa é menor, o que significa maior atividade no escalpe. Na tabela 7 encontram-se os diferentes indicadores testados.

| Caraterística em EEG | Descrição | Fórmula |
|---|--|---|
| 1. Excitação AF4/AF3 | Excitação nos elétrodo AF4 e AF3 | $\alpha_{AF3} + \alpha_{AF4}$ |
| 2. Excitação F8/F7 | Excitação nos elétrodo F8 e F7 | $\alpha_{F7} + \alpha_{F8}$ |
| 3. Excitação F4/F3 | Excitação nos elétrodo F4 e F3 | $\alpha_{F3} + \alpha_{F4}$ |
| 4. Excitação FC6/FC5 | Excitação nos elétrodo FC6 e FC5 | $\alpha_{FC5} + \alpha_{FC6}$ |
| 5. Excitação AF3,AF4,F3,F4 (alfa e beta) | Valores de excitação para os elétrodo AF3, AF4, F3 e F4. | $\frac{\beta_{AF3} + \beta_{AF4} + \beta_{F3} + \beta_{F4}}{\alpha_{AF3} + \alpha_{AF4} + \alpha_{F3} + \alpha_{F4}}$ |

Tabela 7. Diferentes indicadores para análise da excitação. Adaptado de [20].

As expressões 1., 2., 3., e 4. são bastante semelhantes. Foi extraída a DEP média na banda alfa para os diferentes pares de elétrodo. Como os níveis de excitação estão relacionados com a atividade global frontal, é efetuada a soma dos diferentes valores de DEP alfa em diferentes localizações na zona frontal, em ambos os hemisférios (AF4 e AF3, F7 e F8, F3 e F4, FC5 e FC6). A uma menor DEP alfa está associada uma maior atividade global frontal, daí classificar-se como alta excitação. A valores mais altos de DEP alfa, está associada uma menor atividade frontal global, o que evidencia uma baixa excitação.

O indicador 5. avalia os valores de excitação tendo em conta as DEP médias nas bandas alfa e beta. Na equação tem-se no numerador a soma das DEP beta nos pares de elétrodo AF3-AF4 e F3-F4 e no denominador a soma das DEP alfa nos mesmos elétrodo. A um rácio maior desta equação está associada uma maior excitação, porque significa que para o estímulo houve maior DEP beta frontal e menor DEP alfa frontal. Estas caraterísticas evidenciam uma maior atividade global na zona frontal do que para valores mais baixos da equação, onde o rácio é menor, significando que existiu, para dado estímulo valores altos de DEP alfa e valores mais baixos de DEP beta, o que se traduz numa menor atividade global frontal.

Na tabela 8 pode-se verificar os resultados da aplicação dos vários indicadores para a excitação para os músicos e não-músicos.

| | 1. AF4 e AF3 (alfa) | 2. F8 e F7 (alfa) | 3. F4 e F3 (alfa) | 4. FC6 e FC5 (alfa) | 5. AF3,AF4,F3 ,F4 (rácio beta/alfa) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--|
| Músicos | 50% | 37% | 62% | 50% | 62% |
| Não-Músicos | 50% | 75% | 75% | 38% | 62% |
| Total | 50% | 56% | 69% | 48% | 62% |

Tabela 8. Taxas de sucesso para a avaliação do nível de excitação para os vários indicadores.

Tal como nos indicadores da avaliação da valência, a expressão que envolve os elétrodos F3 e F4 é o mais bem-sucedido a avaliar o tipo de excitação de um excerto musical, com uma taxa de sucesso de 69%, no total. À semelhança do que se passou com o estudo da valência, a taxa de sucesso é superior nos indivíduos não-músicos. Os indivíduos não-músicos aparentam demonstrar mais sensibilidade aos níveis de excitação de um estímulo sonoro (75% de precisão), comparando com os músicos (62%). É de notar, uma vez mais, que o processamento relativo à componente técnica certamente que afetará a resposta emocional no campo da excitação, por parte dos músicos.

Foram analisados os mapas da DEP em alfa e beta, relativos aos excertos de níveis de excitação diferentes, para se comparar os diferentes padrões de resposta aos estímulos. Selecionaram-se os mapas relativos a apenas um indivíduo, para exemplo do comportamento das DEP nas bandas alfa e beta. Na figura 14 podemos observar os diferentes valores de DEP para estímulos musicais de valências diferentes e baixos níveis de excitação e valências diferentes com altos níveis de excitação.

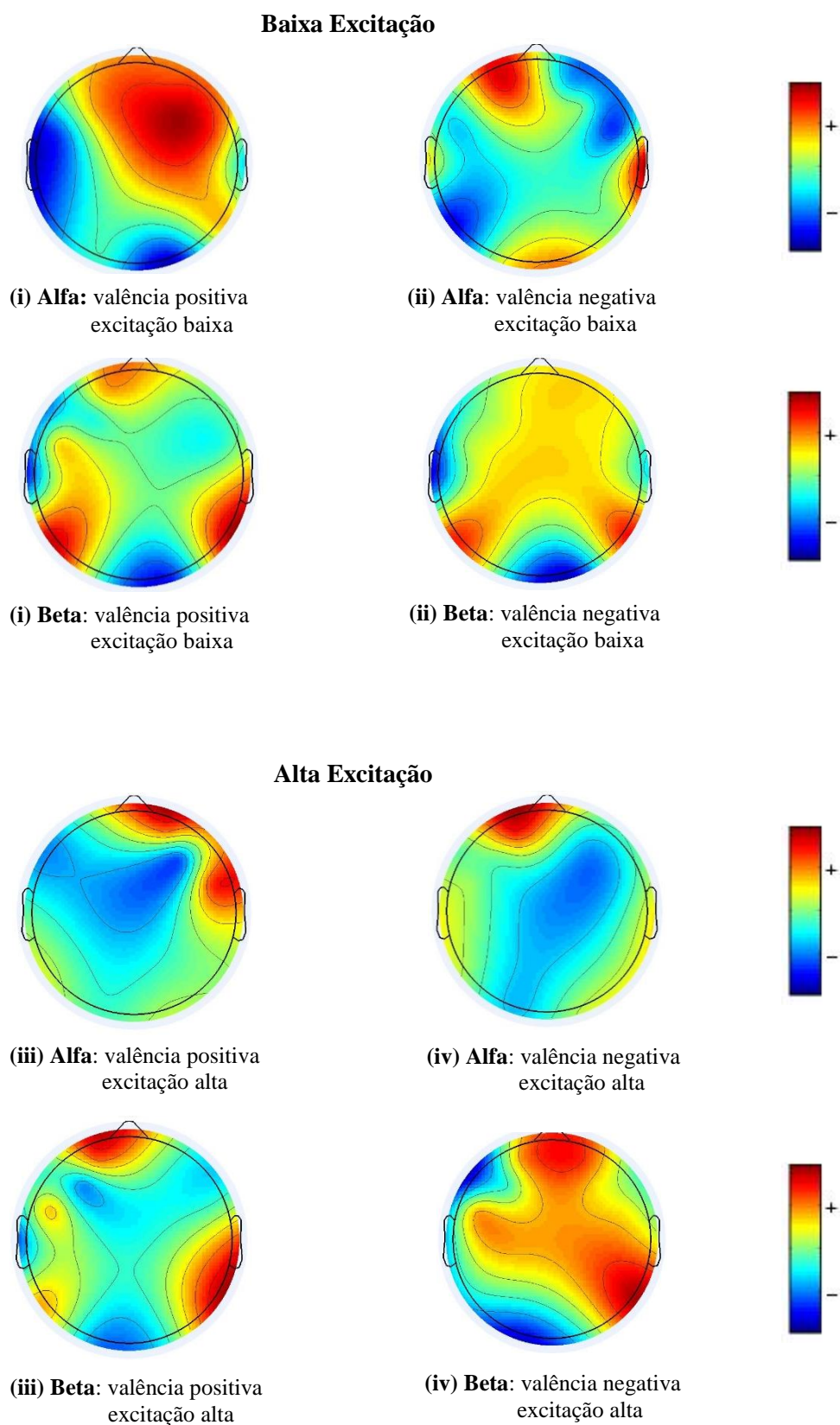


Figura 14. Exemplo dos mapas de DEP média em alfa e beta para os estímulos de diferentes níveis de excitação, para um indivíduo. Na parte superior, os mapas relativos níveis baixos de excitação. Na parte inferior, os mapas relativos a níveis altos de excitação.

Através da análise dos mapas é possível evidenciar os diferentes padrões na atividade cerebral, consoante os níveis de excitação de um excerto, tanto na valência negativa como na valência positiva. Se se comparar excertos de baixa excitação com valência positiva, pode-se observar o seguinte: de (i) alfa para (iii) alfa, há um decréscimo de valores altos de DEP, ou seja, em excertos com a mesma valência mas com diferentes níveis de excitação, há um aumento da atividade global frontal. Observando os mapas de DEP beta, de (i) beta para (iii) beta, há um aumento da DEP frontal do estímulo de menor excitação para o de maiores níveis, o que sugere o que já foi dito anteriormente, ou seja, a um aumento dos valores de excitação está associado um aumento dos valores de DEP beta.

Nos excertos de valência negativa, também se verifica a tendência já anteriormente evidenciada entre os mapas de baixa excitação e os de alta excitação, tanto nas DEP alfa como nas DEP beta. De (ii) alfa para (iv) alfa, há uma ligeira supressão dos valores de DEP, o que se traduz, novamente, num aumento da atividade global na zona frontal. Em relação aos mapas de DEP beta, de (ii) beta para (iv) beta confirma-se um aumento da DEP na zona frontal.

As figuras 15 e 16 consistem em diferentes gráficos que evidenciam o comportamento da DEP alfa nos elétrodos mais relevantes no que respeita à excitação para as diferentes valências. Fez-se a comparação dos valores de DEP média na banda alfa e nos elétrodos F3 e F4, visto que foram os elétrodos mais bem-sucedidos a classificar os níveis de excitação.

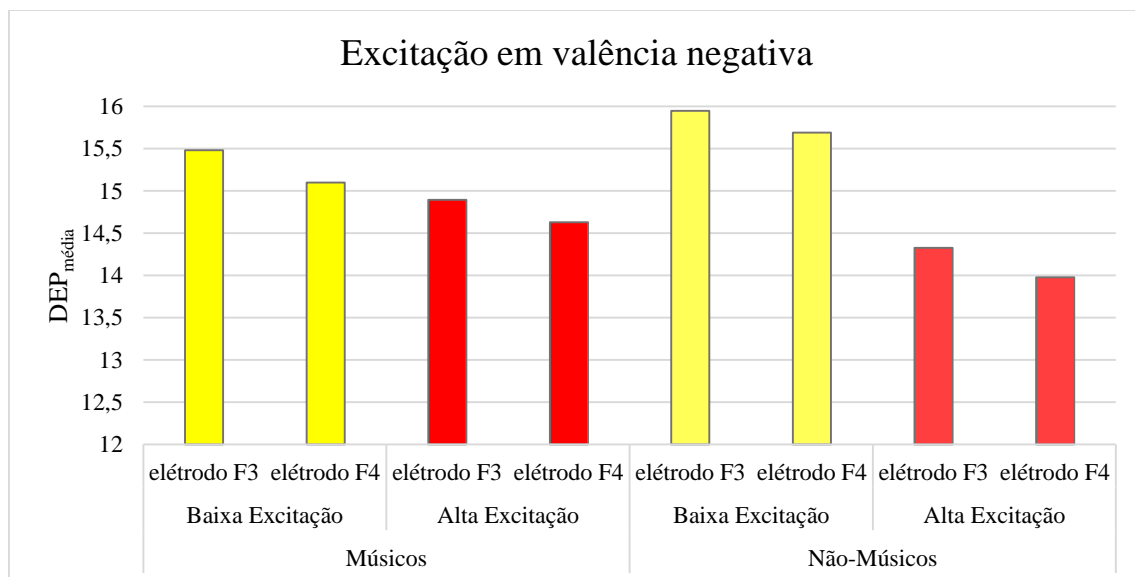


Figura 15. Valores de DEP média na banda alfa para estímulos de níveis diferentes de excitação mas com valência negativa, nos dois grupos de indivíduos.

Na valência negativa, ao analisar os gráficos da DEP alfa para os estímulos de diferentes níveis de excitação, nota-se em ambos os grupos de indivíduos uma diminuição da DEP frontal (F3 e F4) da baixa excitação para alta excitação, que se exprime num aumento da atividade global frontal de excerto de baixa excitação para um de alta excitação. Verifica-se, nos não-músicos, que existe um maior distanciamento dos valores de DEP entre baixa e alta excitação. Enquanto que nos músicos os valores de DEP estão bastante próximos, nos não-músicos há uma diferença considerável, concluindo-se assim, que no campo da valência negativa, é evidente a distinção entre os diferentes níveis de excitação na população dos não-músicos.

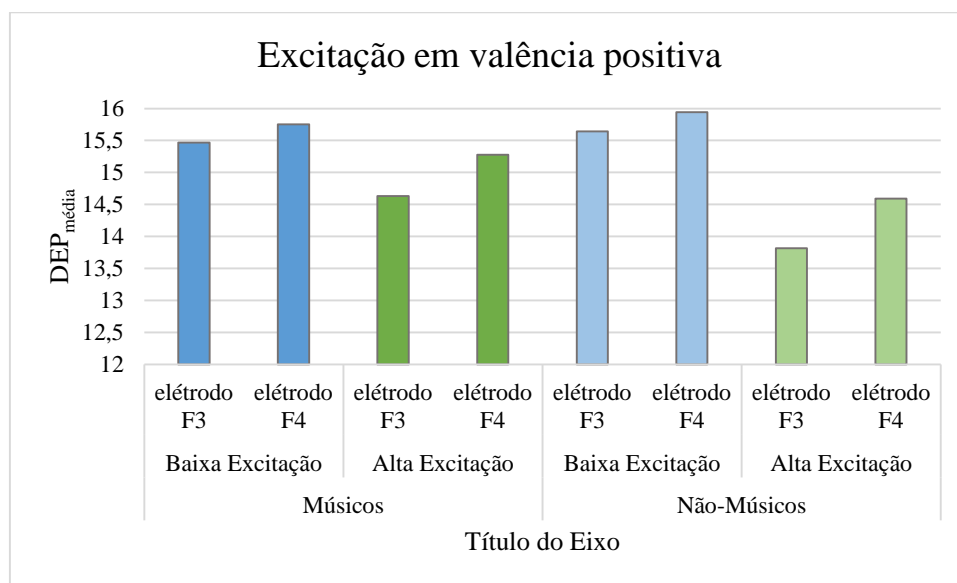


Figura 16. Valores de DEP média na banda alfa para estímulos de níveis diferentes de excitação mas com valência positiva, nos dois grupos de indivíduos.

Relativamente ao estudo da excitação no campo da valência positiva, verifica-se a mesma tendência evidenciada no campo da valência negativa, em ambos os grupos de indivíduos. De um excerto de baixa excitação para um de alta excitação, há, em ambos os eletrodos, uma diminuição dos valores da DEP média, o que corresponde a um aumento da atividade global da zona frontal. Para o caso da excitação baixa, foi possível evidenciar com o indicador do estudo da DEP alfa nos eletrodos F3 e F4, que a estímulos de baixa excitação, corresponde uma alta DEP alfa, ou seja, baixa atividade global frontal.

À semelhança do que aconteceu no estudo da excitação em valência negativa, nos músicos a discrepância entre os valores de DEP entre a baixa e alta excitação é menor do que nos não-músicos, onde há uma diferença considerável entre estes valores. No campo da valência positiva, é muito mais clara a distinção entre os diferentes níveis de excitação na população dos não-músicos do que na dos músicos.

Os resultados dos dados eletroencefalográficos corroboram os resultados das respostas aos questionários, relativamente às taxas de sucesso na classificação das emoções quanto à valência. Nos estímulos de valência negativa, as taxas de sucesso foram superiores nos não-músicos, assim como nos questionários. É de notar, também, que as taxas de sucesso na avaliação da valência positiva foram bastante superiores do que na valência negativa, tanto nos músicos como nos não-músicos. Este acontecimento também pode ser explicado pela percentagem da emoção presente em cada estímulo (apêndice C). Os estímulos de valência positiva tiveram maiores percentagens de emoções presentes (serenidade, alegria), do que os de valência negativa (tristeza, serenidade), conseguindo-se, assim, relacionar os dados eletroencefalográficos com as respostas dos questionários.

5. Conclusões

Os vários indicadores testados para a avaliação da resposta emocional em EEG permitiram afirmar que é possível evidenciar diferentes padrões para as duas populações estudadas. Os resultados, no que respeita aos questionários, quer no que respeita à análise dos registos de EEG, permitiram encontrar as tendências esperadas tanto ao nível da valência como ao nível da excitação de um determinado conjunto de estímulos sonoros. Conseguiu-se provar que a valência emocional está relacionada com diferentes padrões de assimetria na atividade frontal do cérebro. Para a valência positiva, uma maior atividade relativa no hemisfério esquerdo frontal e para a valência negativa uma maior atividade relativa no hemisfério direito frontal. A excitação está relacionada com a atividade global na zona frontal. Música com maior excitação traduz-se numa maior atividade global frontal. Música com menores níveis de excitação induz uma menor atividade.

Quanto à análise dos dados dos questionários, é possível verificar que os estímulos com maiores níveis de excitação são os que tiveram melhores classificações quanto à análise dos dados eletroencefalográficos no campo da valência. Os estímulos 1, 3, 6, 8, 11, em geral, foram os estímulos com melhores classificações na análise do sinal de EEG. Este acontecimento sugere a existência de uma interdependência entre a valência e a excitação. Ou seja, o sucesso da avaliação da valência de um estímulo é afetada pela excitação inerente a um estímulo musical.

Após a análise dos dados eletroencefalográficos, em relação à população de músicos, conseguiu-se determinar a valência positiva dos estímulos com 94% de sucesso e a valência negativa com 44%. Quanto à excitação provocada pelos excertos, conseguiu-se provar o nível de excitação com 62% de sucesso.

No caso da população de não-músicos, foi possível provar a valência positiva dos estímulos com 96% de taxa de sucesso e a valência negativa com 49%. Relativamente à excitação, conseguiu-se determinar o nível de excitação dos diferentes grupos de estímulos com 75% de certeza.

Estes resultados demonstram, então, que se consegue determinar com maior precisão a resposta emocional em EEG no grupo dos não-músicos, comparativamente ao grupo dos músicos. Esta evidência pode estar baseada no facto de os músicos não conseguirem ignorar todo o processamento relativo à parte técnica por detrás da música, ou seja, toda a componente relacionada com a parte composicional, os vários instrumentos musicais utilizados no estímulo, entre outros. A análise por parte dos músicos acaba por influenciar a atenção prestada à emoção que possa ser evocada por um determinado estímulo sonoro.

Quanto aos vários indicadores testados na análise de dados, a análise simples da DEP dos elétrodos F3 e F4 (em alfa e alfa/beta) foi a mais bem-sucedida, quer no campo da valência, quer na análise dos níveis de excitação. Para a valência positiva obteve-se 95% de sucesso para a banda alfa e 75% para o rácio entre alfa e beta. Para a valência negativa, 46% e 38%, respetivamente. Para os valores de excitação, as taxas de sucesso foram 69% em F3-F4 alfa e de 62% alfa/beta. Estes resultados acabam por corroborar a literatura já existente, em que os elétrodos-alvo para o estudo da emoção são os elétrodos F3 e F4.

Em relação ao sucesso dos resultados, é de salientar que os valores extraídos da banda beta não foram os esperados, comparando-os com os da banda alfa. O padrão que seria de esperar, para um excerto de alegria, por exemplo, seria uma diminuição dos valores na banda alfa e aumento nos valores na banda beta no mesmo elétrodo. Este evento acabou por não prevalecer, daí a taxa de sucesso para o rácio entre alfa e beta ser menor do que apenas o indicador que tinha os valores da potência média de alfa. Uma possível explicação para este acontecimento pode residir no facto de a banda beta utilizada ser demasiado abrangente (de 12Hz a 30Hz). Isto significa que os valores mais baixos da banda beta têm um comportamento semelhante aos valores na banda alfa, daí a não acontecer exatamente a tendência esperada, visto que a uma supressão dos valores de DEP na banda alfa, corresponde um aumento das DEP de frequências mais elevadas, principalmente na banda gama (de 30Hz a 100Hz).

5.1. Trabalhos Futuros

A análise dos dados de EEG no trabalho desenvolvido foi feita usando toda a duração dos estímulos sonoros. Para trabalhos futuros, é provável que se consiga correlacionar a resposta emocional com os resultados dos questionários em intervalos menores da aquisição de EEG. Por exemplo, se num estímulo que evoque medo houver uma janela de tempo que evoque com uma grande intensidade o tipo de emoção que é suposto evocar, há, à partida, uma maior possibilidade de correlacionar os dados da leitura de EEG com a avaliação do ouvinte. Se o sinal de EEG correspondente à audição de um estímulo for separado em pequenas janelas de sinal, é possível obter uma resposta mais próxima da avaliação presente no questionário, porque existem determinados intervalos de interesse correspondentes a secções da audição do estímulo em que a emoção evocada foi mais intensa.

Como a correlação entre os dados da banda beta neste presente trabalho ficaram aquém do que se esperava, se a análise dos dados de DEP beta for dividida em duas sub-bandas (por exemplo entre 12Hz e 20Hz e entre 20Hz e 30Hz), há a possibilidade de se verificar uma tendência próxima do que seria esperado.

Num futuro próximo, espera-se que, com a implementação destes indicadores de deteção de emoção em interfaces cérebro-computador, seja possível efetuar sessões de musicoterapia em pacientes com várias patologias, sem a necessidade da ajuda de um terapeuta. Com este tipo de musicoterapia, através da leitura e da análise em tempo real do sinal de EEG, será possível a escolha de música adequada ao estado emocional do paciente, tornando, assim, esta nova abordagem para a musicoterapia um processo de apoio psicológico mais eficiente, individual e personalizado. [10]

Referências

- [1] S. M. Campos, “Música e Neurociências,” vol. 8, no. 2, pp. 70–75, 2000.
- [2] L. a. Schmidt and L. J. Trainor, “Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions,” *Cogn. Emot.*, vol. 15, no. 4, pp. 487–500, 2001.
- [3] A.-K. Weivert, “Music and Emotion: The Neural Correlates of Music-Induced Positive Affect,” University of Skövde, 2014.
- [4] P. Ekman, R. W. Levenson, and W. V Friesen, “Autonomic Nervous System Activity Distinguishes among Emotions,” vol. 221, no. 4616, pp. 1208–1210, 2008.
- [5] J. F. Thayer and R. W. Levenson, “Effects of music on psychophysiological responses to a stressful film,” *Psychomusicology A J. Res. Music Cogn.*, vol. 3, no. 1, pp. 44–52, 1983.
- [6] C. L. Krumhansl, “An exploratory study of musical emotions and psychophysiology,” *J. Exp. Psychol.*, vol. 51, no. 4, pp. 336–353, 1997.
- [7] T. Johnstone, C. M. van Reekum, H. L. Urry, N. H. Kalin, and R. J. Davidson, “Failure to regulate: counterproductive recruitment of top-down prefrontal-subcortical circuitry in major depression,” *J. Neurosci.*, vol. 27, no. 33, pp. 8877–84, 2007.
- [8] M. Forteza, “An EEG-based Emotion-driven Music Control System,” p. 90, 2013.
- [9] Y. Pan, C. Guan, J. Yu, K. K. Ang, and T. E. Chan, “Common frequency pattern for music preference identification using frontal EEG,” *Int. IEEE/EMBS Conf. Neural Eng. NER*, pp. 505–508, 2013.
- [10] O. Sourina, Y. Liu, and M. K. Nguyen, “Real-time EEG-based emotion recognition for music therapy,” *J. Multimodal User Interfaces*, vol. 5, no. 1–2, pp. 27–35, 2012.
- [11] J. A. Russell, “A circumplex model of affect,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 39, no. 6, pp. 1161–1178, 1980.
- [12] D. Ramos and J. L. O. Bueno, “ Emoções de uma escuta musical afetam a percepção subjetiva de tempo,” *Psicol. Reflexão e Crítica*, vol. 25, no. 2, pp. 286–292, 2012.
- [13] D. Sammler, M. Grigutsch, T. Fritz, and S. Koelsch, “Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music,”

Psychophysiology, vol. 44, no. 2, pp. 293–304, 2007.

- [14] Y. Liu, O. Sourina, and N. Minh Khoa, “Real-Time EEG-Based Emotion Recognition and Its Applications,” *Trans. Comput. Sci. Xii Spec. Issue Cyberworlds*, vol. 6670, pp. 256–277, 2011.
- [15] K. Trochidis and E. Bigand, “EEG-based emotion perception during music listening,” *Proc. 12th Int. Conf. Music Percept. Cogn. 8th Trienn. Conf. Eur. Soc. Cogn. Sci. Music*, pp. 1018–1021, 2012.
- [16] Y. Lin, C. Wang, T. P. Jung, T. Wu, S. Jeng, J. R. Duann, and J. Chen, “EEG based emotion recognition in music listening,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 57, no. 7, pp. 1798–1806, 2010.
- [17] M. Murugappan, M. Rizon, R. Nagarajan, S. Yaacob, I. Zunaidi, and D. Hazry, “Lifting scheme for human emotion recognition using EEG,” *2008 Int. Symp. Inf. Technol.*, vol. 2, pp. 0–6, 2008.
- [18] R. Bhorla, P. Singal, and D. Verma, “Analysis of Effect of Sound Levels on Eeg,” *Int. J. Adv. Technol. Eng. Res.*, pp. 121–124, 2012.
- [19] H. Moreira and A. R. José Casanova, “Análise neurosociológica da percepção musical: exploração das interdependências entre conceitos sociológicos e atividade do córtex cerebral na percepção musical,” *Sociology*, 2011.
- [20] E. Yurci, “Emotion Detection From Eeg Signals : Correlating Cerebral Cortex Activity,” *Dep. Inf. Commun. Technol. Pompeu Fabra, Barcelona*, 2014.
- [21] M. Teplan, “Fundamentals of EEG measurement,” *Meas. Sci. Rev.*, vol. 2, pp. 1–11, 2002.
- [22] F. H. Schomer, Donald L. Lopes da Silva, *Niedermeyer’s Electroencephalography*, 6th ed. Wolters Kluwer, 2011.
- [23] C. Silva, “Processamento de Dados Electroencefalográficos - Aplicações à epilepsia,” 1998.
- [24] P. Blinowska, K. and Durka, “Electroencephalography (EEG),” *ey Encyclopedia of Biomedical Engineering*, no. 5. pp. 1341–1353, 2006.
- [25] H. Pereira, “Reconhecimento de artefactos relativos à fala em registos de EEG,” *Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa*, 2012.

- [26] R. Sucholeiki, “Normal EEG Waveforms,” 2008. .
- [27] T. M. Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, *Principles of Neural Science*. Mc Graw Hill, 2000.
- [28] R. Ramirez, M. Palencia-Lefler, S. Giraldo, and Z. Vamvakousis, “Musical neurofeedback for treating depression in elderly people,” *Front. Neurosci.*, vol. 9, no. OCT, pp. 1–10, 2015.
- [29] M. Sofia and G. Penedo, “Análise por componentes independentes dos exames de EEG / IfRM de epilepsia Análise por Componentes Independentes dos Exames de EEG / IfRM de epilepsia,” 2012.
- [30] “Matlab.” . Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab/>. [Accessed: 06-Oct-2016].
- [31] A. Delorme, T. Fernsler, H. Serby, and S. Makeig, “EEGLAB Tutorial Table of Contents,” *San Diego Calif. Univ. San Diego*, pp. 1–18, 2006.
- [32] T. Eerola and J. K. Vuoskoski, “A comparison of the discrete and dimensional models of emotion in music,” *Psychol. Music*, vol. 39, no. 1, pp. 18–49, 2011.
- [33] “Wikipedia Sound List,” 2016.. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Sound/list>.
- [34] Emotiv Systems, “TestBench TM User Manual,” 2014.
- [35] M. Lundqvist, P. Herman, and A. Lansner, “Theta and gamma power increases and alpha/beta power decreases with memory load in an attractor network model,” *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 23, no. 10, pp. 3008–3020, 2011.

APÊNDICE A – Origem dos Excertos Musicais do Protocolo Criado

| # | Excerto Musical | Duração (s) | Emoção |
|----|---|-------------|-------------------|
| 1 | <i>Concerto de Brandenburg nº5</i> de Bach – início do primeiro andamento | 47 | Alegria |
| 2 | <i>Adagio</i> de Barber (início) | 56 | Tristeza |
| 3 | <i>Pedro e o Lobo</i> , de Prokofiev - excerto do Lobo (início) | 60 | Medo |
| 4 | <i>Primavera</i> , de Vivaldi – segundo andamento. (início) | 64 | Serenidade |
| 5 | <i>O Paciente Inglês</i> , faixa 18; 00:00-00:59 | 59 | Tristeza |
| 6 | <i>Trilogia Alien</i> , faixa 9; 00:00-00:56 | 55 | Medo |
| 7 | <i>O Padrinho III</i> , faixa 5; 01:13-02:19 | 66 | Serenidade |
| 8 | <i>Danças com Lobos</i> , faixa 10; 00:00-00:46 | 41 | Alegria |
| 9 | <i>Batman Regressa</i> , faixa 5 00:00-00:46 | 46 | Medo |
| 10 | <i>Retrato de uma Senhora</i> , faixa 9, 00:00-00:23 | 44 | Tristeza |
| 11 | <i>Orgulho e Preconceito</i> faixa 4, 00:10-01:06 | 56 | Alegria |
| 12 | <i>Orgulho e Preconceito</i> , faixa 1, 00:10-00:49 (1 repetição) | 77 | Serenidade |

APÊNDICE B – Questionário - Classificação da Valência e Excitação

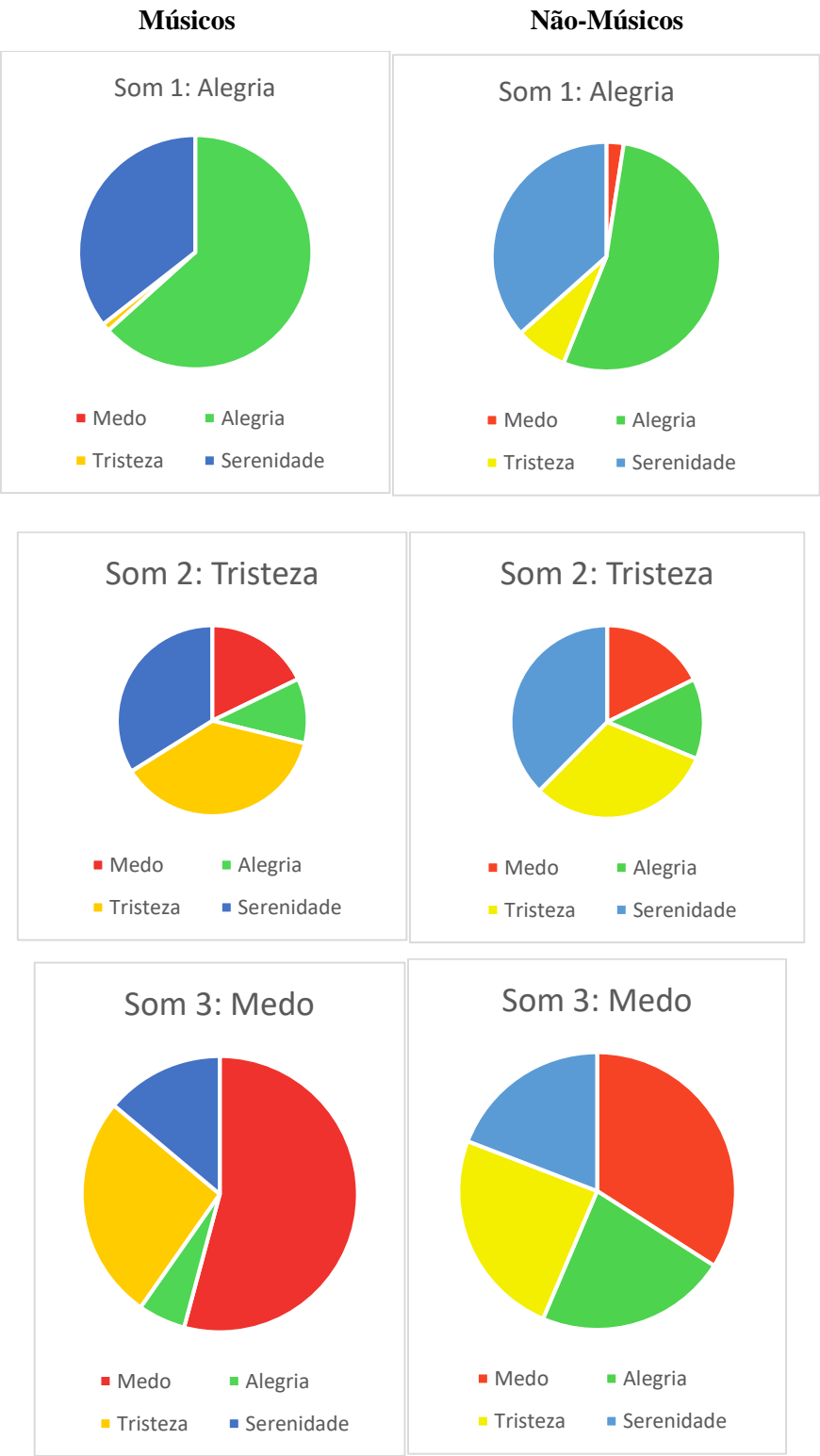
| Excerto | Valência | Excitação |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 1 | 7,75 (0,71) | 6,38 (1,19) |
| 2 | 3,75 (1,67) | 4,50 (2,62) |
| 3 | 2,50 (0,93) | 4,13 (2,59) |
| 4 | 4,75 (1,75) | 5,12 (2,47) |
| 5 | 4,63 (2,13) | 3,63 (1,99) |
| 6 | 2,50 (0,76) | 6,38 (2,33) |
| 7 | 6,38 (1,92) | 4,50 (2,51) |
| 8 | 6,88 (0,99) | 6,50 (1,77) |
| 9 | 1,88 (0,64) | 5,75 (2,71) |
| 10 | 2,63 (1,06) | 4,38 (2,50) |
| 11 | 8,38 (0,74) | 7,00 (1,06) |
| 12 | 6,88 (1,46) | 4,75 (2,19) |

Tabela C.1. - Não-Músicos.

| Excerto | Valência | Excitação |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 1 | 6,63 (1,06) | 6,00 (1,07) |
| 2 | 4,00 (1,85) | 4,50 (1,69) |
| 3 | 4,88 (1,81) | 5,88 (1,55) |
| 4 | 5,13 (2,42) | 4,75 (2,05) |
| 5 | 5,13 (1,64) | 4,25 (1,67) |
| 6 | 5,50 (2,20) | 7,38 (1,50) |
| 7 | 6,63 (2,50) | 4,50 (2,56) |
| 8 | 5,88 (1,81) | 5,75 (1,67) |
| 9 | 5,13 (1,46) | 6,25 (1,67) |
| 10 | 4,13 (1,96) | 3,63 (1,68) |
| 11 | 7,88 (0,64) | 7,63 (1,19) |
| 12 | 7,15 (1,46) | 5,38 (1,99) |

Tabela C. 2. – Músicos.

APÊNDICE C – Emoções presentes num estímulo

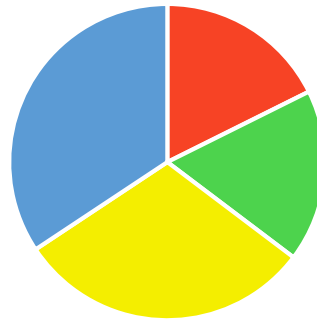


Som 4: Serenidade



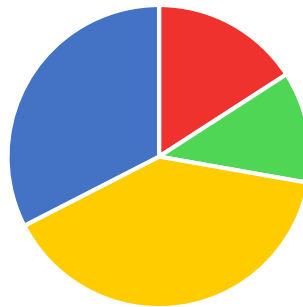
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 4: Serenidade



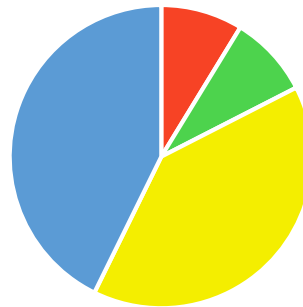
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 5: Tristeza



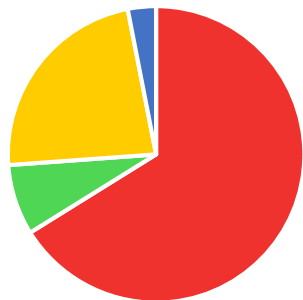
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 5: Tristeza



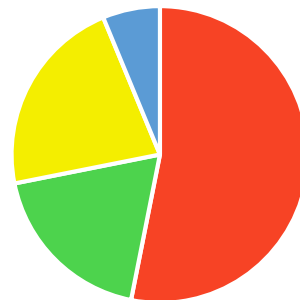
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 6: Medo



■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 6: Medo



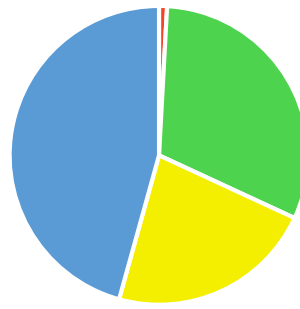
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 7: Serenidade



■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 7: Serenidade



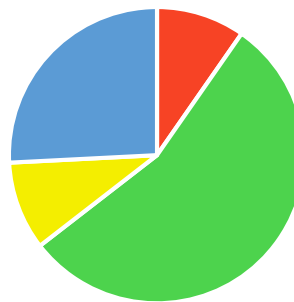
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 8: Alegria



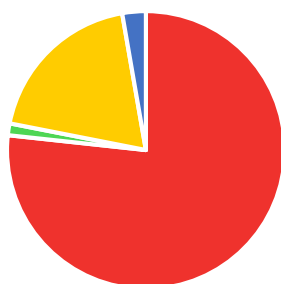
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 8: Alegria



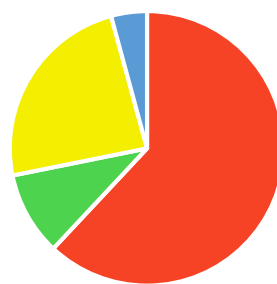
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 9: Medo



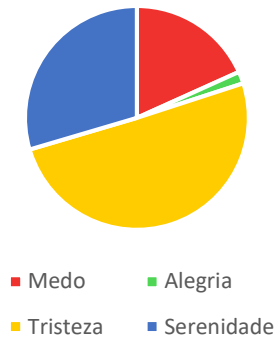
■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

Som 9: Medo

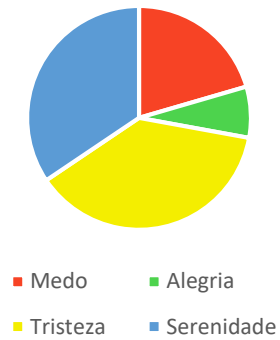


■ Medo ■ Alegria
■ Tristeza ■ Serenidade

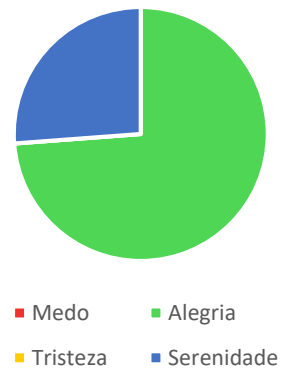
Som 10: Tristeza



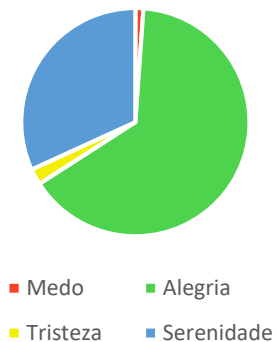
Som 10: Tristeza



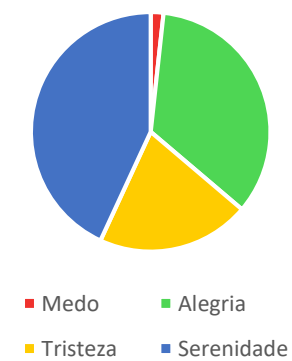
Som 11: Alegria



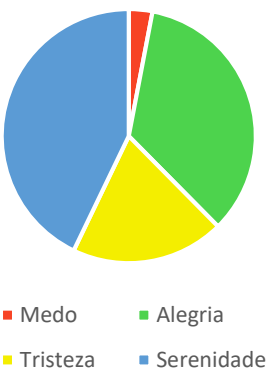
Som 11: Alegria



Som 12: Serenidade



Som 12: Serenidade



APÊNDICE D - Taxas de Sucesso a Classificar a Valência

Som 1

Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| 100% | 87,50% | 87,50% | 100% | 100% | 75% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| 100% | 75% | 87,50% | 87,50% | 100% | 75% |

Som 2

Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| 0% | 25% | 12,50% | 37,50% | 0% | 35,00% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| 37,50% | 25% | 37,50% | 65,00% | 25% | 38% |

Som 3

Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| 12,50% | 25% | 12,50% | 50% | 25% | 35% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------------------|
| 25% | 12,50% | 12,50% | 50,00% | 12,50% | 37,50% |

Som 4**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 75% | 75% | 75% | 75,00% | 75% | 62,50% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 75% | 62,50% | 62,50% | 87,50% | 75% | 50% |

Som 5**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 0% | 12,50% | 12,50% | 25% | 12,50% | 25% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 37,50% | 25% | 37,50% | 37,50% | 25% | 25% |

Som 6**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 12,50% | 0% | 25% | 62,50% | 12,50% | 50,00% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 37,50% | 37,50% | 25% | 50,00% | 12,50% | 40% |

Som 7**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 100% | 87,50% | 88% | 100% | 100% | 33,30% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 100% | 100% | 100% | 100% | 75% | 75% |

Som 8**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 100% | 100% | 100% | 100,00% | 100% | 87,50% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 100% | 87,50% | 87,50% | 100% | 87,50% | 75% |

Som 9**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 12,50% | 25% | 12,50% | 50% | 0% | 50% |

Não-Músicos

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 12,50% | 42,80% | 25% | 37,50% | 0% | 50% |

Som 10**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 12,50% | 25% | 25% | 37,50% | 12,50% | 38% |

Não-**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 0% | 25% | 0% | 55,00% | 12,50% | 38% |

Som 11**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Não-**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 87,50% |

Som 12**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 87,50% | 75% | 75% | 87,50% | 87,50% | 87,50% |

Não-**Músicos**

| Valência Total | Valência AF4 | Valência F8 | Valência F4 | Valência FC6 | Valência alfa e beta |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 87,50% | 87,50% | 75,00% | 100% | 100% | 87,50% |

APÊNDICE E - Questionário



Preencher antes da aquisição

NOME

IDADE

EXEMPLO

Como classifica este som quanto à **Valência**?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como classifica este som quanto ao nível de **Excitação**?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como classifica este som quanto ao **Medo**?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como classifica este som quanto à **Alegria**?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como classifica este som quanto à **Tristeza**?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como classifica este som quanto à **Serenidade**?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Como classifica este som quanto ao seu **Gosto Pessoal**?

(Odeia) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 (Adorou)

COMENTÁRIO: _____

